Verksamhetsberättelse för

”Projektprogram för FoU inom dricksvattenområdet i Sverige – från råvatten till tappkran (DRICKS)”

DRICKS 2019

Sammanfattning

Under 2019 tillkom ytterligare en ny medlem till DRICKS när Vätternvatten AB anslöt, och nu samverkar 12 kommunala vattenproducenter inom DRICKS. Under året fortsatte utvecklingen av projekt och fallstudier, dels inom ramen för de arbetspaket som utgör stommen för verksamheten inom DRICKS, dels genom en tydligare koppling mellan arbetspaketen och de projekt som finns i gränslandet mellan arbetspaketen. Samarbetet mellan forskare, doktorander och medlemmar intensifierades, och det gemensamma DRICKS-internatet i början på året gav många möjligheter att träffas, diskutera idéer och ge feedback kring den planerade verksamheten för DRICKS under 2019. Syftet med internatet är både att sprida kunskap om det pågående arbetet och resultat från det, men också att vidareutveckla de projekt som finns och identifiera nya. Genom att identifiera aktuella problemställningar, kunskapsluckor, gemensamma intressen och nya fallstudier kan vi tillsammans vidareutveckla arbetet. Under året arrangerades flera workshops och seminarier i samverkan med våra medlemsorganisationer kring intressanta frågeställningar och olika tematiska områden. Många av forskarna var deltog i olika forum och gjorde inlägg i samhällsdebatten kring dricksvattenfrågor.

Under 2019 påbörjade SLU en av de mest omfattande provtagningar av läkemedel i tillrinningsområden av Vänern, Vättern och Mälaren hittills, där syftet är att studera källfördelning av läkemedel, bakgrundshalter, borttagning i avlopps- och dricksvattenverk samt vilka naturliga reningsprocesser som förekommer. Ett viktigt resultat av arbetet med kemiska risker är ett bidrag till en policy brief från *Water JPI Knowledge Hub on Contaminants of Emerging Concern*, där forskare från SLU är medförfattare.

Genom provtagning och sekvensering av två nya och ett gammalt långsamfilter från Ringsjöverket har etableringen av biofilmen i långsamfilter studerats av Lunds universitet. Resultaten visar att genom inokulation av långsamfilter med gammal sand skapas olika förutsättningar för olika bakteriergrupper att etablera sig jämfört med ett filter som endast bestod av nyinköpt sand.

Tack vare ett explicit biofilmssystem i Varberg i kombination med innovativ applikation av FCM analys har det varit möjligt att påvisa den specifika biofilmsdynamiken i ett fullskaligt ledningsnät för distribution av dricksvatten under en treårsperiod.

Under 2019 slutfördes bland annat rapporten ”När vattentillgången brister”, som tillhandahåller information och underlag för hur olika aktörer kan bidra till en bättre vattensituation i områden med vattenbrist. En fallstudie inleddes där en elektronisk tunga testas och utvärderas i ett befintligt distributionsnät. Syftet är att försöka förbättra detektionsgränser och att kunna skilja naturliga variationer från anomalier i syfte att undvika falsklarm. I ett examensarbete undersöktes riskerna vid underhållsarbeten och hur markvatten som kan vara kontaminerade med fekala indikatorer, och därmed risk för patogener, kan ta sig in i distributionsnätet.

Ett nytt forskningsprojekt WaterPlan (Riskbaserad prioritering av vattenskydd i hållbart samhällsbyggande) startades under 2019, med övergripande syfte att utveckla underlag och metoder för att lättare kunna utvärdera och prioritera skyddsåtgärder för våra dricksvattenresurser.

Under 2019 presenterades 2 doktorsavhandlingar inom DRICKS. Dessutom har 12 studenter genomfört 7 examensarbeten och kandidatarbeten inom hela DRICKS verksamhetsområden – från råvatten till tappkran. Slutligen, under året har det publicerats flera vetenskapliga artiklar och tekniska rapporter. Många forskare, doktorander och medlemmar har varit aktiva på både nationella och internationella konferenser, och bidragit med såväl muntliga presentationer som posters.

2. Innehållsförteckning

Sammanfattning i
2. Innehållsförteckning iii
3. Bakgrund 1
4. Projektprogrammet DRICKS 2
4.1 DRICKS integrerade projektbeskrivning 2
4.2 Forskningsledare och forskarstuderande 3
4.3 Samverkan med branschen 3
4.4 Användning av Svenskt Vattens medel 4
5. Forskningsresultat 6
5.1 Beslutsstöd för framtida utmaningar (AP1) 6
5.2 Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet (AP2) 8
5.3 Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan (AP3) 12
5.4 Biofilter och mikrobiologiska barriärer (AP4) 19
6. Kommunikation och publicering (AP5) 24
6.1 DRICKS seminarier 24
6.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten, media 25
6.3 DRICKS hemsida och nyhetsbrev 26
7. Undervisning kopplad till DRICKS 28
7.1 VA-kurser och kursutveckling 28
7.2 Examensarbeten 31
8. Referenser 32
8.1 Vetenskapliga publikationer 32
8.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag (muntliga såväl som posterpresentationer) 33
8.3 Doktors- och licentiatavhandlingar 34
8.4 Rapporter 35
8.5 Examensarbeten 35

3. Bakgrund

Svensk dricksvattenforskning minskade betydligt i omfattning under 1990-talet och början av 2000-talet på grund av minskade ekonomiska resurser för forskning och utveckling (FoU), vilket innebar att forskningsverksamheten vid landets högskolor i allmänhet, och vid Chalmers i synnerhet, i princip upphörde. Chalmers beslutade under 2002 att göra en satsning för en nystart av den historiskt framgångsrika dricksvattenforskningen och startade i slutet av 2003 DRICKS, *Projektprogram för FoU inom dricksvattenområdet i Sverige – från råvatten till tappkran*, med finansiering från Svenskt Vatten. Den första projektperioden löpte under fem år, och DRICKS har sedan dess finansierats i treårsperioder där innevarande period påbörjades 2018.

DRICKS övergripande målsättning är att den forskning som bedrivs i samverkan med branschen ska ge ökad kunskap och praktiskt tillämpbara resultat som bidrar till en tillförlitlig och säker dricksvattenförsörjning. Arbetet sker genom att i samverkan lösa aktuella och långsiktiga utmaningar i en inspirerande miljö som präglas av hög vetenskaplighet tillsammans med branschen – från råvatten till tappkran. Svenskt Vattens satsning på DRICKS har möjliggjort ett stort antal forskningsprojekt som möjliggjort denna typ av arbete och med finansiering från EU, forskningsråd, myndigheter, vattenproducenter, m.fl.

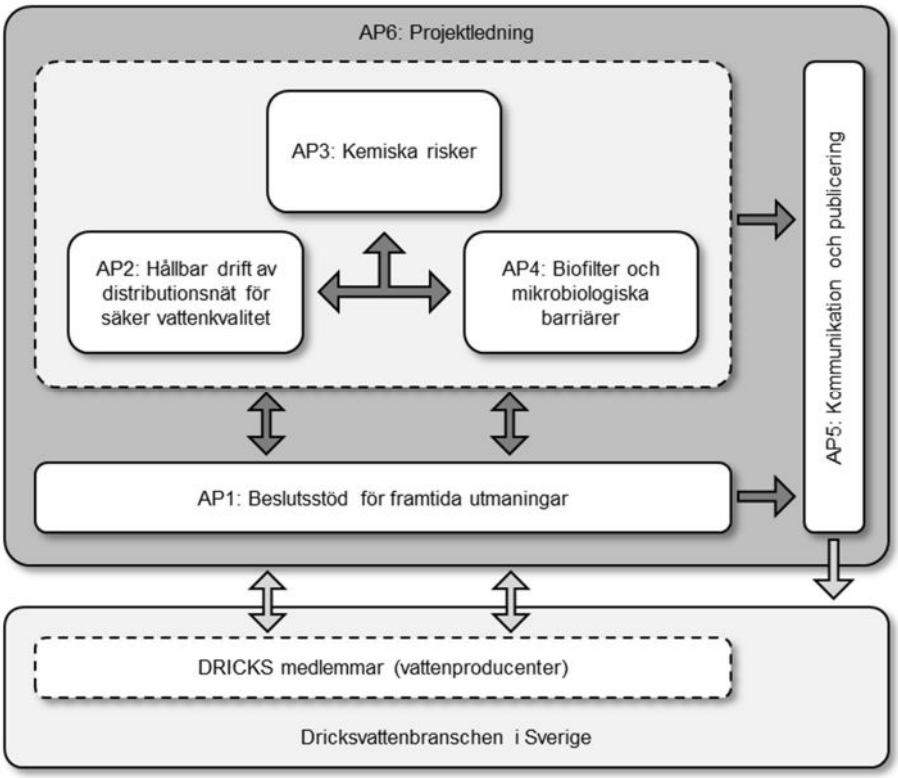
Dricksvattenbranschen i Sverige står inför en rad olika utmaningar idag och i framtiden. Hanteringen av åldrande system, effekter av klimatförändringarna, delvis nya föroreningar och spridningsvägar samt ändrade förutsättningar i form av vattenbehov m.m. är några exempel. För att på ett effektivt sätt hantera dessa utmaningar krävs ökad kunskap om såväl hur befintliga system kan driftas, optimeras och övervakas samt kunskap om hur möjliga åtgärder kan analyseras och prioriteras.

4. Projektprogrammet DRICKS

I detta avsnitt beskrivs hur DRICKS olika verksamheter binds ihop genom integrerade projektdelar, vilka finansiärer som bidragit med finansiering och hur de övergripande arbetspaketen samverkar för att täcka de delområden som DRICKS i tidigare program delat in dricksvattenområdet i.

4.1 DRICKS integrerade projektbeskrivning

Ansökningsprocessen för innevarande programperiod genomfördes genom ett stort förankringsarbete tillsammans med dricksvattenbranschen. Arbetet inleddes med att DRICKS beredningsgrupp arbetade fram en lista över de viktigaste utmaningarna som dricksvattenbranschen ansågs står inför, och förankrade listan hos DRICKS styrgrupp. I samband med det årliga DRICKS-internatet, där samtliga forskare och medlemsorganisationer deltar, gjordes ytterligare prioriteringar vilket ledde fram till att flera konkreta projektförslag kunde presenteras. DRICKS ledningsgrupp bearbetade förslagen och arbetade fram ett förslag på fyra större forskningsprojekt (se *Figur **1***), och DRICKS beslut att detta interna förarbete skulle utgöra grunden i innevarande programperiod förankrades i en process med Svenskt Vattens fackkommittéer. Återkopplingen från kommittémedlemmarna var mycket positiv och de inspel och förslag på kompletteringar som erhölls har arbetats in i projektförslagen i DRICKS programperiod 2018 – 2020.



Figur 1 Schematisk skiss på hur arbetspaketen, som utgör kärnan i DRICKS verksamhet, kopplar till varandra.

De fyra arbetspaket som utgör kärnan i DRICKS verksamhet, dvs. de övergripande forskningsprojekten som identifierats tillsammans med branschen, har följande titlar:

AP1 – Beslutsstöd för framtida utmaningar
AP2 – Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet
AP3 – Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan
AP4 – Biofilter och mikrobiologiska barriärer

Utöver dessa fyra arbetspaket ingår ytterligare två arbetspaket. Kommunikation och publicering (AP5) och Projektledning (AP6), utgör stommen för projektledning, administration och kommunikation av DRICKS verksamhet och aktiviteter. Dessutom tillkommer projekt, som adresserar viktiga frågeställningar inom DRICKS verksamhetsområde, med som inte har en tydlig koppling till något specifikt arbetspaket.

I Figur 1 illustreras relationen mellan de olika arbetspaketen. AP6 kan ses som ramen för allt arbete och AP5 innehåller bland annat strategier för hur de resultat och kunskap som arbetas fram på ett bra sätt kan spridas till branschen. AP2, 3 och 4 är fokuserade på att öka kunskapen om aktuella problem och analysera effekten av möjliga åtgärds- eller handlingsalternativ. Det finns en direkt koppling mellan dessa arbetspaket, exempelvis att samma del av systemet analyseras eller att samma kvalitetsparameter studeras. AP1 är fokuserat på att utveckla beslutstödsmodeller och ett viktigt underlag till detta arbete är resultaten från AP2-4. Genom att ha ett särskilt beslutstödsprojekt (AP1) där resultaten från övriga arbetspaket blir indata för att lättare att skapa en helhet som kan nyttiggöras av branschen.

4.2 Forskningsledare och forskarstuderande

Under innevarande programperiod har flera forskare och forskningsledare varit aktiva inom DRICKS, se *Tabell **1***. Vi har arbetat aktivt inom samtliga delområden ***från källa till tappkran*** men har även ökat samverkan med branschen genom större utbyte med medlemmar i projekt och fallstudier. Föreståndare för DRICKS är Thomas Pettersson och vice föreståndare är Andreas Lindhe.

Tabell 1 Kompetens som täcks via DRICKS (delområden samt forskningsledare och forskarstuderande) 2019.

Delområde	Forskare och forskarstuderande	Externa medverkande
Riskbedömning	Lars Rosén, Andreas Lindhe, Viktor Bergion, Karin Sjöstrand, Lena Blom, Olof Bergstedt	Tore Söderqvist m fl (Anthesis Enveco), Kaisa Sörén (SVA)
Kemiska hälsorisker	Karin Wiberg, Lutz Ahrens, Stephan Köhler	
Vattenresurser - Ytvatten	Thomas Pettersson, Ekaterina Sokolova, Viktor Bergion, Lena Blom, Karin Sjöstrand	Johan Åström (Tyréns) Åsa Sjöling (Karolinska)
Vattenresurser - Grundvatten	Lars-Ove Lång, Andreas Lindhe, Lars Rosén, Karin Sjöstrand	Per-Olof Johansson (Artesia), Johan Åström (Tyréns)
NOM-karakterisering	Stephan Köhler, Dolly Kothawala, Kathleen Murphy, Claudia Cascone	Sofia Firpo Nilofar Åkerlund
Beredningsteknik	Mia Bondelind Kate Murphy, Nashita Moona, Mohanna Heibati, Olof Bergstedt, Stephan Köhler, Peter Rådström, Catherine J. Paul, Kristjan Pullerits, Mikael Danielsson	Linda Holmer (Norrvatten)
Mikrobiella ekosystemtjänster	Catherine J. Paul, Peter Rådström, Kristjan Pullerits, Mikael Danielsson	Sandy Shan (Sydvatten/SWR)
Distribution	Thomas Pettersson, Viktor Vinas, Peter Rådström, Catherine J. Paul, Kristjan Pullerits, Mikael Danielsson	Jonas Toljander (SLV), Melle Säve-Söderbergh (SLV), Alexander Keucken, VIVAB)
Konsument	Mia Bondelind	Jonas Toljander (SLV)

4.3 Samverkan med branschen

Inom DRICKS har vi sedan starten 2003 haft ett nära och produktivt samarbete med dricksvatten-branschen och antalet medlemmar har ständigt ökat. Under 2019 ökade medlemsantalet i DRICKS till

12 medlemsorganisationer, då Vätternvatten AB anslöt. Mycket av projektsamarbeten har under året fokuserats i de fyra arbetspaketen där flera fallstudier påbörjats och ytterligare flera fallstudier planeras.

Lunds universitet har i samverkan med Kommunalförbundet Norrvatten, Stockholm Vatten och Avfall (SVOA), Sydvatten AB, Sweden Water Research AB (SWR), VA SYD, Vatten & Miljö i Väst AB (VIVAB) påbörjat tre dricksvattendistributionsprojekt med syfte att öka kunskapen om biofilmens inverkan på vattenkvalitén hos konsument och i synnerhet hur distributionsstörningar, kvalitetsåtgärder och stagnant vatten påverkar kvalitén. Distributionssystem i Stockholm, Lund och Varberg studeras med molekylärbiologisk analys (ATP, FCM, PCR och MPS), kemisk analys (NOM-analys med LC-OCD-OND) och traditionell vattenanalys för att systematiskt undersöka biostabilitet och åtgärder mot oönskad bakterietillväxt. Projektet med finansiering från nämnda dricksvattenproducenter och SVU syftar också till att utvärdera olika typer av rationell mikrobiologisk on-line analys.

På Ringsjöverket (Sydvatten) pågår en långsiktig biofilterstudie med syfte att förstå biofilmsfunktionen i långsamfilter. Projektet som nyligen erhållit doktorandmedel från Formas, kommer att modellera den biologiska reningen i långsamfilter utifrån framtida klimatpåverkan där Högskolan Kristianstad utvecklar en användarvänlig mobilapp för flödescytometrisk mönsteranalys. Projektet leds av Lunds universitet.

Ett fullskaligt UV-projekt på Görvälnverket (Norrvatten) har identifierat vilka mikroorganismer som avdödas med UV samt vilka som påvisar återväxtpotential. Arbetet som accepterats för publikation i Clean Water, en open accesstidskrift från Nature Research, har genomförts i samverkan med Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) i Umeå, Livsmedelsverket, Norrvatten, Sweden Water Research och Lunds universitet.

Biofilterprestanda och effekten av kontakttiden studerades i full skala på Kungälvs nya WTP. Projektpartner inkluderade Kungälvs Kommun, Sweco, Trollhätten Energi och Purac.

Initiativ från Göteborg och Norrvatten att vara på och vidareutveckla virusanalyserna som utvecklats vid Göteborgs universitet.

I samverkan med Lerums kommun, Göteborgs Stad och Sveriges geologiska undersökning (SGU) har en fallstudie genomförts i Gråbodeltat där syftet är att ta fram en beslutsmodell för att utvärdera möjligheterna till konstgjord infiltration.

Under året har Göteborgs Stad anställt Anna Ohlin, som är industridoktorand vid Chalmers och arbetar inom projektet Mistra InfraMaint. Arbetet handlar om beslutsstöd kopplat till tillskottsvatten, ett problem som bland annat belastar våra dricksvattentäkter.

4.4 Användning av Svenskt Vattens medel

Under 2019 har Svenskt Vatten Utveckling (SVU), enligt projektkontraktet för denna programperiod, finansierat DRICKS med 2 000 kkr, fördelat på Chalmers 1300 kkr (varav 50 kkr till Linköpings univ.), SLU 350 kkr och Lunds universitet 350 kkr.

De kostnader som DRICKS haft under 2019 har uppgått till 2063 kkr (Chalmers 1239 kkr, SLU 351 kkr, Lund 430 kkr, Linköping 43 kkr). Andra dricksvattenrelaterade projekt, som finansierats av andra finansiärer än Svenskt Vatten, finansierade av forskningsråd, kommuner, statliga myndigheter, institut och universitet mm som genomförts vid de tre universiteten under 2019 uppgår totalt till runt 12,9 Mkr, vilket ger en betydande uppväxling av DRICKS kostnader under året.

En mer detaljerad ekonomisk redovisning av kostnaderna under 2019 finns i den ekonomiska bilagan (Bilaga 1), vilken endast delges finansiären Svenskt Vatten.

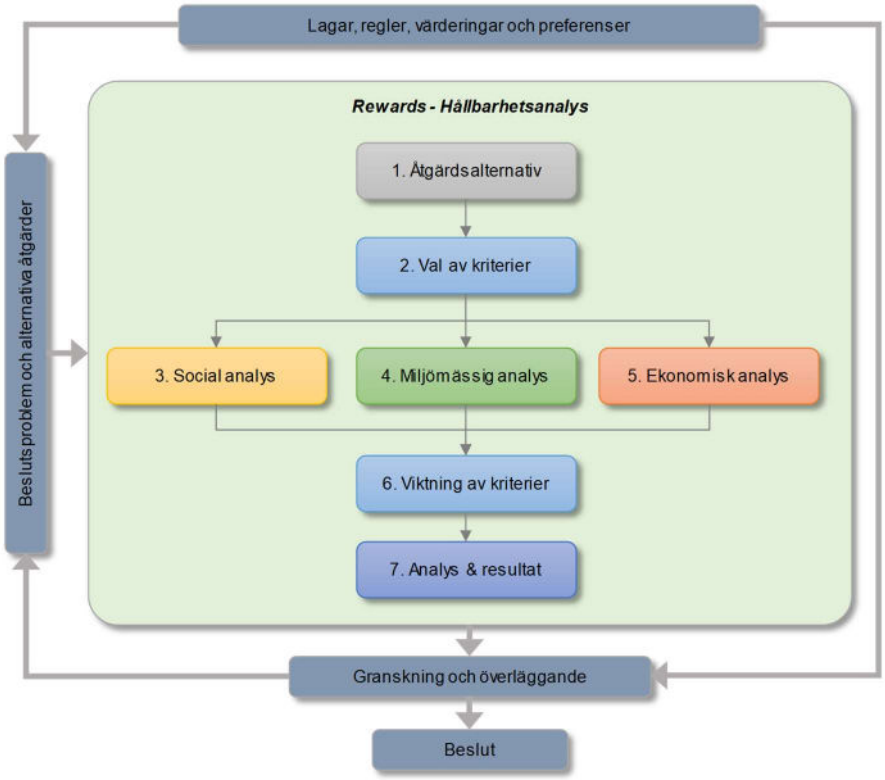
5. Forskningsresultat

Här beskrivs de forskningsresultat som delprojekten inom DRICKS har producerat under 2018 och hur det fortsatta arbetet ser ut, ur ett branschperspektiv. Resultaten från doktorandprojekt och kortare projekt redovisas under respektive delområde i detta kapitel. (mer detaljer om projekten finns även på DRICKS hemsida, www.dricks.chalmers.se, under Projekt).

5.1 Beslutsstöd för framtida utmaningar (AP1)

Under 2019 har arbetet inom beslutsstödsområdet innefattat såväl planerade aktiviteter som nya projekt. Nedan ges en sammanfattning av det arbete som genomförts.

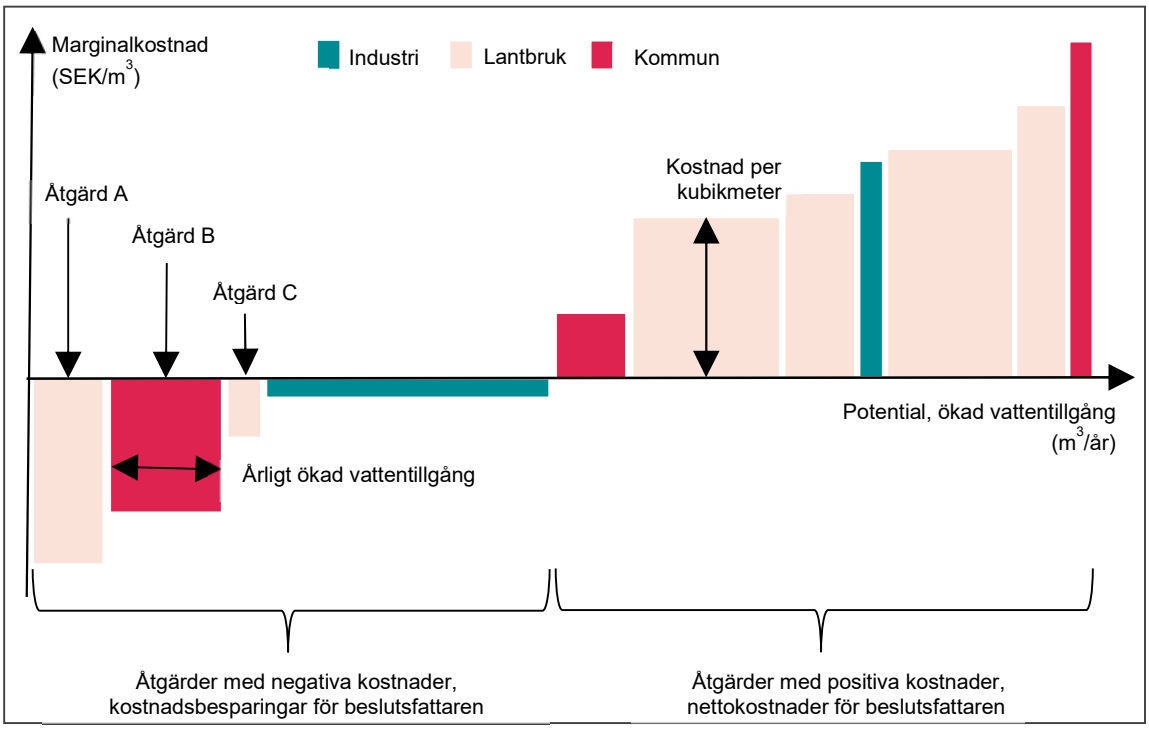
Utvecklingen av metoder och verktyg för beslutsstöd är en central del av detta arbetspaket. I tidigare projekt (*ReWarDS – Beslutsstödsystem för hållbar regional vattenförsörjning*) har kriterier och angreppssätt tagits fram för att analysera och utvärdera mellankommunala dricksvattenåtgärder med hjälp av multikriterieanalys (MKA) och kostnadsnyttoanalys (KNA). För att göra projektresultaten praktiskt användbara för dricksvattenbranschen har utvecklingen av ett Excel-baserat verktyg och tillhörande manual påbörjats. Genom att utnyttja resultaten från tidigare projekt samt ha en dialog med representanter från dricksvattenbranschen, anpassas verktyget för att vara tillämpbart på aktuella frågeställningar och ge den typ av beslutsstöd som efterfrågas. Verktyget bygger på MKA, dvs. en uppsättning kriterier identifieras (t.ex. kopplat till allt vattenkvalitet, miljöeffekter och ekonomi) och används för att utvärdera och jämföra olika systemlösningar eller andra åtgärder. I figur 2 visas verktygets sju steg, från att definiera möjliga åtgärdsalternativ till den slutgiltiga analysen efter det att nödvändiga data matats in och bedömningar gjorts. Under 2019 påbörjades också en fallstudie tillsammans med Norrvatten där MKA används för att utvärdera olika processlösningar.



Figur 2 Ramverket för det MKA-verktyg som utvecklas och de ingående stegen då verktyget tillämpas (1-7).

I samverkan med Lerums kommun, Göteborgs Stad och Sveriges geologiska undersökning (SGU) har en fallstudie genomförts i Gråbodeltat. Syftet med det pågående projektet är att ta fram en beslutsmodell för att utvärdera möjligheterna till konstgjord infiltration, med hänsyn till bland annat osäkerheter i underlagsmaterial. SGU har inom ramen för sin satsning på geodata i 3D bland annat genomförts geofysiska mätningar (tTEM, markburna transient elektromagnetiska data) och tagit fram en 3D-modell över marklagren.

Torka och vattenbrist är ett allvarligt problem många delar av världen och även i delar av Sverige. Under 2019 slutförde forskare inom DRICKS bland annat rapporten ”När vattentillgången brister”, som tillhandahåller information och underlag för hur olika aktörer kan bidra till en bättre vattensituation i områden med vattenbrist (https://www.ri.se/sites/default/files/2019-10/N%C3%A4r%20vattentillg%C3%A5ngen%20brister.pdf). För att underlätta utvärderingen och jämförelsen av olika metoder för att spara vatten eller få tillgång till mer vatten, har även en fallstudie genomförts med så kallade åtgärdskostnadskurvor. Syftet med denna metodik är att i en och samma graf kunna jämföra olika åtgärder baserat på den mängd vatten de sparar eller ger tillgång till och kostanden de är förknippade med. I figur 3 visas ett generellt exempel på en åtgärdskostnadskurva där åtgärder inom industri, landbruk och kommun (va-organisationen) ingår. Åtgärderna är sorterade baserade på marginalkostnaden, det vill säga från lägst till högst kostnad per kubikmeter, och bredden på staplarna visar den ökade vattentillgång som åtgärderna kan ge (genom minskat behov eller tillgång till mer vatten). Resultaten från arbetet finns publicerade i bland annat artikeln Marginal Abatement Cost Curves for Water Scarcity Mitigation under Uncertainty (Sjöstrand et al., 2019).



Figur 3 Exempel som visar den information som går att utläsa ur en åtgärdskostnadskurva (Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T., Dahlqvist, P. & Rosén, L. (2019). När vattentillgången brister. Rapport 2019:79, RISE, Lund).

Under 2019 disputerade Viktor Bergion med avhandlingen *Risk-based decision model for microbial risk mitigation in drinking water systems*. Viktor har utvecklat en modell för att kombinera kvantitativ mikrobiologisk riskbedömning (QMRA) och kostnadsnyttoanalys. Tidigare har fokus i doktorandprojektet bl.a. legat på hur spridningen i tillrinningsområde och vattentäkten kan modelleras och hur olika hälsoeffekter hos dricksvattenkonsumenterna kan värderas ekonomiskt. Under 2019 genomfördes fallstudier som visar på vikten av att beakta oönskade och oväntade riskhändelser, dvs. händelser som inte är vanligt förekommande. Detta innebär att både ofta förekommande men mindre allvarliga händelser och sällsynta men allvarliga händelser ska tas hänsyn till. Om inte hela riskbilden beaktas kan prioriteringen av förbättringsåtgärder bli ineffektiv. Genomförda fallstudier visar t.ex. att prioriteringen av åtgärder för att förbättra den mikrobiologiska säkerheten skilda sig åt beroende på om bräddningar och olycksartade händelser beaktades eller inte. Arbetet har framförallt gjorts inom ramen för projektet Riskbaserat beslutsstöd för säkert dricksvatten (finansierat av SVU).

Projektet WaterPlan (Riskbaserad prioritering av vattenskydd i hållbart samhällsbyggande) beviljades av Formas i slutet av 2018, men projektet startades under 2019. Projektets övergripande syfte är att utveckla underlag och metoder för att lättare kunna utvärdera och prioritera skyddsåtgärder för våra dricksvattenresurser. Utöver att identifiera vad som hotar tillgången på vatten och dess kvalitet, behöver den sammantagna risken kunna beräknas, effekten av möjliga skyddsåtgärder uppskattas och nyttan av skyddet vägas mot negativa effekter som kan uppstå. Inom projektet kommer kostnads-nyttoanalys att användas för att kunna visa om olika åtgärder är samhällsekonomiskt lönsamma eller inte. Projektets tre huvuddelar är:

1. karakterisering av dricksvattenresurser och identifiering av effekter i samhället av riskreducerande åtgärder,
2. samhällsekonomisk värdering av dessa effekter baserat på värdeöverföring och primärstudier,
3. ekonomisk beslutsanalys av riskreducerande åtgärder.

Under det första projektåret har en litteraturgenomgång gjorts för att bland annat identifiera studier där man ekonomiskt värderat olika funktioner en vattentäkt kan ha. En kartläggning har också påbörjats av ekosystemtjänster och andra tjänster som dricksvattenresurser kan tillhandahålla oss människor. Dessa tjänster kommer senare att användas för att identifiera positiva och negativa effekter som olika hot och skyddsåtgärder kan ge upphov till. Under året anställdes också en ny doktorand, Nadine Gärtner, som specifikt kommer att arbeta med hur riskbedömningar kan genomföras och hur resultaten kan knytas ihop med kostnads-nyttoanalys.

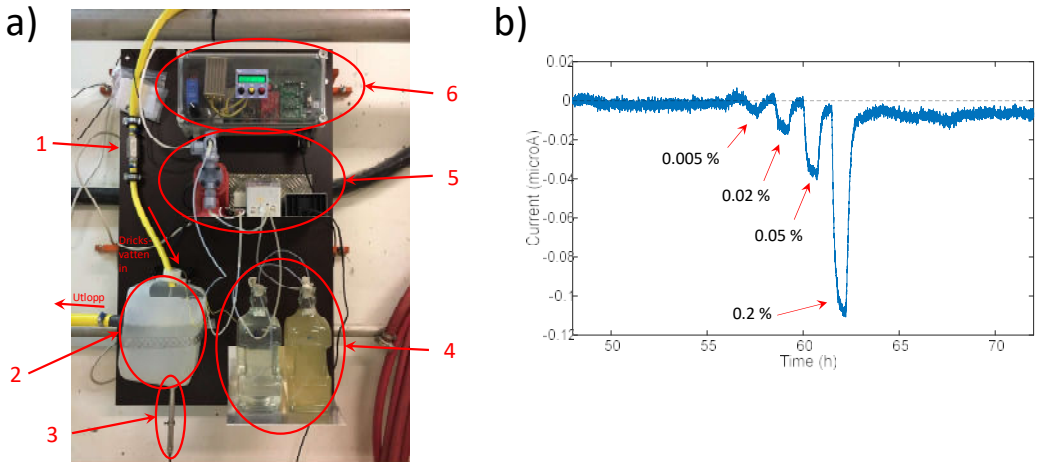
Under året har Göteborgs Stad anställt Anna Ohlin, som är industridoktorand vid Chalmers och arbetar inom projektet Mistra InfraMaint. Arbetet handlar om beslutsstöd kopplat till tillskottsvatten, ett problem som bland annat belastar våra dricksvattentäkter.

5.2 Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet (AP2)

Inom arbetspaket 2 pågår studier i tre av fem komponenter (två komponenter: 2.1 och 2.2, har redan avslutats) och en kort sammanställning av resultaten under 2019 presenteras här.

I komponent 2.3, Elektronisk tunga för praktisk drift i ledningssystem, har under 2019 aktiviteten 2.3.2 ”Fallstudie där den elektroniska tungan testas och utvärderas i ett befintligt distributionsnät”

påbörjats. Installation av mätutrustning i en punkt (Nykvarns avloppsreningsverk i Linköping) där möjligheten att tillsätta föroreningar finns, påbörjades i juni och skarpa mätningar har pågått sedan september. Tillsatser av olika typer av föroreningar/störningar har gjorts en gång per vecka, dels med avloppsvatten (markör för patogena mikroorganismer) och dels med syntetiskt avloppsvatten (utan patogena mikroorganismer), natriumhypoklorit, natriumklorid och nolltester (för att säkerställa att inte mätsystemet ger upphov till falsklarm). I samband med avloppsdoseringarna görs även bakterieanalys och vissa fysikaliska analyser. Mätuppställningen illustreras i figur 4a nedan och är en förenklad version av den uppställning som användes i det tidigare Vinnova-projektet Sensation. Förenklingen är gjord med hänsyn till att det ska vara möjligt att skala upp till ytterligare fyra mätpunkter på distributionsnätet, mätpunkter där installation av mätutrustning är planerad under 2020. Figur 4b visar ett resultat från mätningarna under hösten 2019 där vi för första gången verifierar att detektionsgränsen för avloppsvatten med nuvarande uppställning är ca. 0.01 %. I samarbete med Vinnova-projektet iWater och med forskningscentrumet Security Link har utvärderingar av mätdata med artificiell intelligens påbörjats under 2019, i syfte att försöka förbättra detektionsgränser och att kunna skilja naturliga variationer från anomalier i syfte att undvika falsklarm.

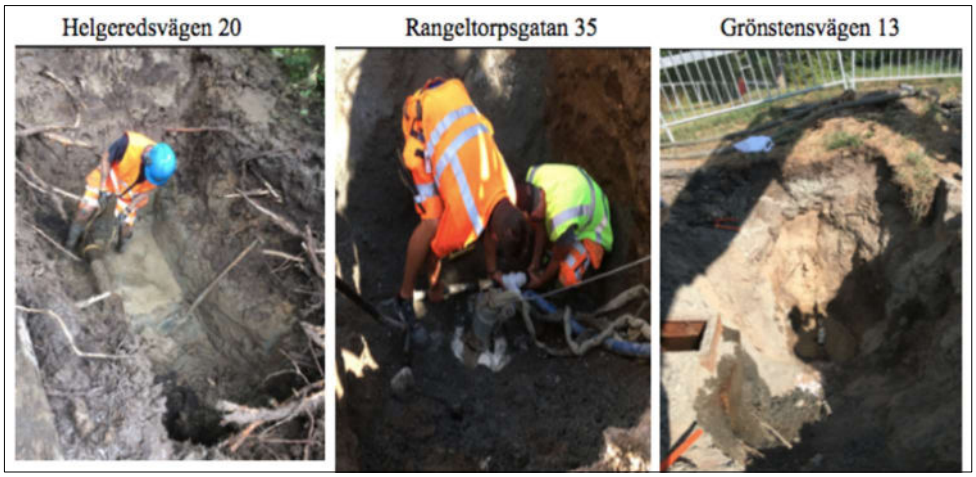


Figur 4. a) Mät-rigg för fältbruk installerad på Nykvarnverket under 2019. Dricksvatten från ett brutet system leds in via en mekanisk flödesregulator (1) och ner i en mätbehållare (2) där den elektroniska tungans sensor-prob (3) mäter. Olika föroreningar (4) kan tillsättas med hjälp av en doserpump (5). Mätningarna övervakas av mätelektronik (6) som samlar in data som skickas vidare till en databas med 4G-kommunikation. b) Exempel på resultat från mätningarna. Olika halter av avloppsvatten, 0.005-0.2 %, har doserats in i mätbehållaren vid olika tillfällen. I tidigare projekt har vi mätt ner till 0.05% avloppsvatten, men här ser vi att det är möjligt att detektera avloppshalter ner till ca. 0.01%.

Inom komponent 2.4 har följande arbete genomförts. Under hösten 2015 tog VIVAB ett initiativ att tillsammans med Sweden Water Research och Lunds universitet påbörja en långsiktig biofilmsstudie i Varbergs ledningsnät. Ansatsen var att kombinera molekylärbiologisk analys med traditionell biologisk och kemisk analys för att öka kunskapen om dricksvattenledningarnas biofilm samt att undersöka om DNA-baserad flödescytometri (FCM) kan användas för processoptimering och övervakning av dricksvattenproduktionen. Resultaten som tills nu genererat två vetenskapliga publikationer, en i npj Biofilms and Microbiomes (Chan et al. 2019) och en i Water (Schleich et al. 2019), samt en SVU-rapport (Schleich et al. 2020), exponerar för första gången biofilmsdynamiken i ett fullskaligt distributionssystem tack vare den nya cellfria dricksvattenproduktionen med

ultrafiltrering (UF). Innan UF-drift påvisades cirka 750 000 bakterier per ml dricksvatten vid upprepade mätningar på ledningsnätet. FCM analyser på utgående dricksvatten efter UF-drift visar lägst cirka 300 bakterier per ml, vilket ger en fingervisning att UF-avskiljningen av bakterier (>4l0g10) i det närmast är total i Kvarnagårdens vattenverk. Troligtvis härstammar merparten av dessa 300-hundratalet bakterier från vattenverkets två lågreservoarer. De 15 provtagningspunkterna som rutinmässigt analyseras i Varbergs distributionssystem visar stor årlig biofilmsdynamik med enstaka värden på 250 000 bakterier per ml i ytterområdena under sensommaren. FCM-mätningarna korrelerar också med ett antal vattenparametrar såsom vattnets uppehållstid, konduktivitet och pH. De taxonomiska biofilmsbestämningarna från uppgrävda PVC-rör (25-30 år), PE-rör (10-15 år) och vattenprover visar att den lokala biofilmen består av ett 40-tal specifika bakteriegrupper som bl.a. kopplas till användandet av monokloramin och bakteriernas nitrifikationsprocess. Ammoniumoxiderande bakterier dominerar biofilmen närmast vattenverket för att därefter gradvis ersättas av nitritoxiderande bakterier. Biofilmen består även av potentiellt patogena legionellabakterier och atypiska mykobakterier som behöver undersökas närmare med förfinad taxonomisk sekvenseringsanalys. Det nya SVU-projektet 19-102, med titeln ”Rationell mikrobiell analys för biostabilt dricksvatten” kommer att studera biofilmens inverkan på vattenkvalitén hos konsument och i synnerhet hur distributionsstörningar, kvalitetsåtgärder och stagnant vatten påverkar kvalitén. Planen är också att med förfinad sekvenseringsanalys (metagenom MPS) identifiera eventuella patogena legionellabakterier och mykobakterier. Projektet som består av tre delprojekt kommer att belysa utfasningen av monokloramin i Varbergs distributionssystem (VIVAB), Oxbergsreservoaren, ett problematiskt vattentorn i Stockholm (Norrvatten, SVOA) samt förändringen av vattenkvalitén på en 54 km lång matarledning från Ringsjöverket via Lund till Flyinge (Sydvatten, VA SYD).

I komponent 2.5, Ramverk för riskbedömningar på ledningsnätet, har ett examensarbete genomförts (arbetet genomfördes 2018 men publicerades i början av 2019). I examensarbetet undersöktes riskerna vid underhållsarbeten och att markvatten som kan vara kontaminerade med fekala indikatorer, och därmed risk för patogener, kan ta sig in i distributionsnätet. Vattenprover i ledningsgravar, där rörreparations- och/eller underhållsarbeten genomförts, inhämtades från 16 olika platser i Göteborg, se Figur 5. Vattenproverna analyserades för att E.coli och koliforma bakterier genom en membranfiltreringsmetod.



Figur 5 Bilder från provtagningstillfällen vid olika ledningsreparationsplatser i Göteborg.

Studien påvisade förekomst av fekala indikatorer i markvatten i dricksvattenledningens närhet vid provtagningstillfällena. Resultaten visade på stora variationer för både E.coli (0 < E.coli < 240000 CFU / 100 ml) och för koliforma bakterier (10 < koliforma bakterier < 240000 CFU / 100 ml) i de analyserade vattenproverna, se Tabell 2. Fekala indikatorer påvisar möjliga föroreningskällor som vid reparations- och underhållsarbeten även kan innehålla patogener och som kan tränga in i dricksvattenledningarna och därmed innebära en risk för människors hälsa. Halterna av indikatororganismer användes för att uppskatta halter av patogener i markvattnet vilka använts som indata till en QMRA-modell (dos-responsfunktion) för ledningsnät. De uppskattade årliga infektionsrisknivåerna för patogener som Campylobacter, Cryptosporidium och Norovirus översteg en acceptabel risknivå på 1 infektion per 10 000 personer per år (enligt US EPA). Resultaten från känslighetsanalys visade att patogenkoncentrationen är den känsligaste parametern för den intagna dosen. Fortsatt forskning bör inkludera provtagning av markprov samt koppla ihop resultat med hydraulisk modellering för att få en helhetssyn av den rådande situationen och dess relaterade hälsorisker. Epidemiologiska studier kan användas för att validera resultaten.

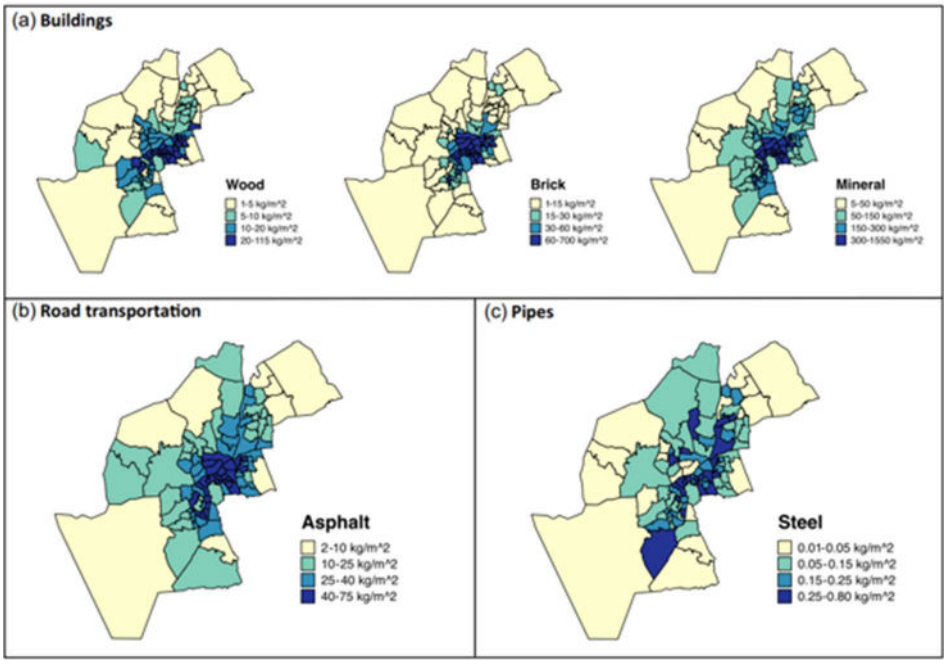
Tabell 2 Resultat av E.coli och koliforma bakterier i markvatten från provtagningar i Göteborg

Sample location	Sample Id.no.	*E. coli* cfu/100ml		Coliforms cfu/100ml	
		Chalmers	Lackerebäck	Chalmers	Lackerebäck
Helgeredsvägen 20	2	0	<0	0	12
Grönstensvägen 13	*5*	*1000*	*<10*	*1100*	*34000*
Kummingatan 12	6	<1	<10	300	440
Runebersgatan 2	7	10	<10	80	<10
Mariagatan 11	8	100000	>240000	tntc*	22000
Nordgårdsgatan 4	9	tntc*	18000	tntc*	100
Uppegårdsvägen 9	*10*	*37000*	*300*	*64000*	*34000*
Hisingsgatan 2	11	20	<10	tntc*	2900
Manufakturgatan 11	12	tntc*	100	tntc	7000
Halvorsäng	16	10	6	tntc*	16000
Sankt Sigfridsgatan 65	15	100	<100	<200	<100
Södra Vägen 73	13	tntc*	100	tntc*	240000
Kungsportsavenyn 1	*18*	*600*	*<100*	*3000*	*6000*

I ett pågående doktorandprojekt, som finansieras av Göteborgsregionen (GR), håller QMRA-verktyget för distributionsnät att utvecklas. Under 2019 har ett förberedande arbete för utökade studier av markvattenprovtagningar i ledningsnätet genomförts, där provtagningarna i ytterligare fyra GR-kommuner (Kungälv, Partille, Lerum och Alingsås) kommer genomföras. Här kommer ytterligare markvattenprover att samlas in och analyseras för E.coli, koliforma bakterier, men även för patogener (presens/absens) såsom Campylobacter och Norovirus vilket kommer användas som indata för vidareutveckling av QMRA-modellen för distributionsnät. Provtagningen kommer genomföras under 2020.

För att uppnå en mer hållbar användning av materialresurser behövs kunskap om den geografiska fördelningen av urbana byggmateriallager i den byggda miljön. I detta samarbetsprojekt, tillsammans med inst. för Byggnadsteknologi vid Chalmers, var syftet att identifiera områden i stadsgeografin som har liknande egenskaper av byggmateriallager. Tre miljökomponenter studerades för Göteborgs stad: byggnader, vägar och rör (DRICKS-del) med användning av sju materialkategorier. Fokus låg på

materialkomposition, åldersfördelning och materialtäthet på primärområdesnivå. Geografiska data om rörs infrastruktur tillhandahölls av Kretslopp och Vattens GIS-databas. Figur 6 (c) visar resultat som erhölls för ledningsrören.



Figur 6 Byggmateriallager (kg/m^2 markyta) visas i 96 bostadsområden i Göteborg. (a) Träbaserade material, tegel och keramik, och mineralbindande material i byggnader, (b) asfalt vid vägtransporter, (c) stål i rörledningar.

5.3 Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan (AP3)

Inom AP3 finns det fem aktuella forskningsprojekt som är relevanta för avrapportering:

- *Dante*
- *Safedrink*
- *Genomljusning*
- *Innovative treatment techniques for pfas substances*
- *Prestandajämförelse av granulerat aktiverad kol*

I dessa projekt genomfördes ett stort antal pilotförsök och provtagningar som presenteras nedan. Delar av detta arbete och arbetet under 2019 resulterade i publikationer som finns i kapitel 8. Ett viktigt resultat av arbetet med kemiska risker som vi vill lyfta är ett bidrag till en policy brief från *Water JPI Knowledge Hub on Contaminants of Emerging Concern*, där Karin Wiberg, Lutz Ahrens och Foon Yin Lai, Institutionen för vatten och miljö, SLU, är medförfattare. Några av slutsatserna listas här och mer information finns i kapitel 6.2:

- Occurrence of chemical hazards in drinking water should be more thoroughly investigated
- The regular monitoring of chemicals in drinking water must be strengthened in the future
- Early warning methodology for chemical hazards in drinking water is urgently needed
- Conventional drinking water treatment techniques needs to be complemented

DANTE: I detta forskningsprojekt som stöds av Formas (2019 – 2022; 12 milj. kr) använder vi effekt-driven analys för att identifiera vilka av alla tiotusentals kemikalier som sprids i miljön som faktiskt orsakar toxiska effekter i miljön. Vi studerar även vilka cocktail-effekter (effekter som uppstår av en blandning av olika ämnen) som kan uppstå då en organism exponeras för ett stort antal kemikalier samtidigt. Denna effektdrivna analys genomförs genom att kombinera biologiska testsystem (bio assays) för att upptäcka toxiska ämnen i vattenmiljön. Fördelen med dessa metoder är att de mäter den totala toxiska effekten i ett prov, oavsett om effekt orsakas av en känd eller okänd substans. Med hjälp av fraktionering och avancerad kemisk analys kan man sedan identifiera vilket eller vilka ämnen det är som orsakar den toxiska effekten. Projektet leds av Johan Lundqvist, SLU.

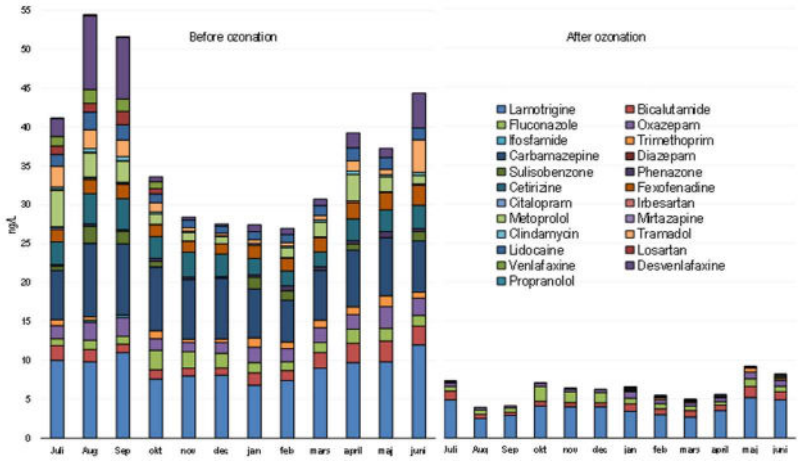
SAFEDRINK: Detta Formas-projekt (2013 – 2018) som fokuserade på hälsofarliga kemikalier i dricksvatten Projektet utvecklade integrerad kemisk-biologisk metodik för förbättrad detektion av hälsofarliga kemikalier i dricksvatten. Vattenprover (upp till 10 L) alternativt exponerade passiva provtagare bereds till ett ~1 ml extrakt som analyseras kemiskt med masspektrometri och toxikologiskt genom biotester. En rad olika biotester utvecklades för att mäta t ex hormonstörande effekter och stressrespons av hela den kemiska blandningen i extrakten. Vi skapade också ett mjukvaruverktyg för vilka potentiellt hälsofarliga ämnen som bör analyseras i dricksvatten (SusTool). Reningseffektivitet undersöktes experimentellt och i fältstudier. SafeDrinks resultat har visat att:

- halterna av oönskade kemiska ämnen i dricksvatten i allmänhet var låga
- koncentrerade vattenprover uppvisade dock toxisk aktivitet, som inte berodde på de analyserade kemiska ämnena i dricksvatten, utan var orsakade av okända ämnen
- konventionella tekniker för dricksvattenrening är i allmänhet inte effektiva för avlägsnande av oönskade vattenlösliga kemiska ämnen
- biotester i kombination med kemisk analys är en mycket användbar ny metodik för detektion av kemiska hot i dricksvatten från källa till kran
- dricksvatten kan ge en betydande exponering för PFAS även vid relativt låga halter
- människors förståelse av dricksvattenrisker bl.a. är grundad på att vatten anses naturligt och därmed förstås som rent och riskfritt. Personliga erfarenheter av att vattnet varit otjänligt leder till en medvetenhet om möjliga risker men sällan till någon förändring av beteende.

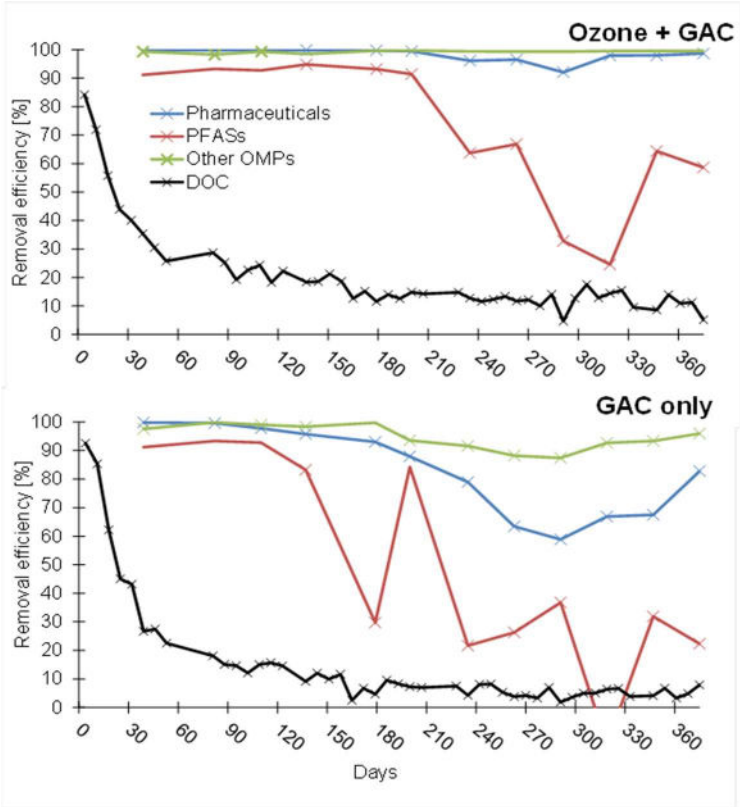
SafeDrink har bidragit till ny kunskap om hur reningsmetoder fungerar för akvatiska miljöföroreningar, framför allt för per- och poly-fluoralkylerade substanser (PFAS), och hur organiska ämnen (DOC) påverkar reningen. Vi har också bidragit till ny kunskap kring hur vattenkvalitéten förändras efter kraftfulla, reaktiva behandlingsprocesser (ozonering, klorering och UV-behandling) med hjälp av våra kemiska och bioanalytiska metoder. Bättre övervakningsstrategier och nya vattenbehandlingsmetoder är nödvändiga för säker produktion av dricksvatten. I EU:s nya dricksvattendirektiv föreslås en riskbaserad bedömning där bioanalys kombineras med kemisk analys (effektdriven analys) för att identifiera hälsofarliga kemiska ämnen. SafeDrink har lett till en hemställan till regeringen om inrättandet av ett kompetenscentrum (på SLU) för kemiska risker i dricksvatten initierat av landshövdingen i Uppsala län och signerat av ytterligare 10 regionala aktörer (vattenproducenter, myndigheter, m.fl.). SafeDrink har också lett till en stor ansökan till Vinnova om inrättandet av ett kompetenscentrum för säker produktion av framtida dricksvatten.

PILOTFÖRSÖK OCH PROVTAGNINGAR:

KOLPILOT GÖRVÄLN (drivs av Norrvatten inom projektet *Prestandajämförelse*):
Norrvatten bedriver ett pilotförsök med ozon och filtration över granulerad aktivt kol (GAK) sedan maj 2018 där två olika typer av kol (Filtrasorb och Norit) och olika kontakttider (EBCT = empty bed contact time) studeras. Efter ett års analysverksamhet utvärderades borttagning av de olika ämnen över ozoneringssteget och över GAK-kolonner med och utan ozonerat vatten.

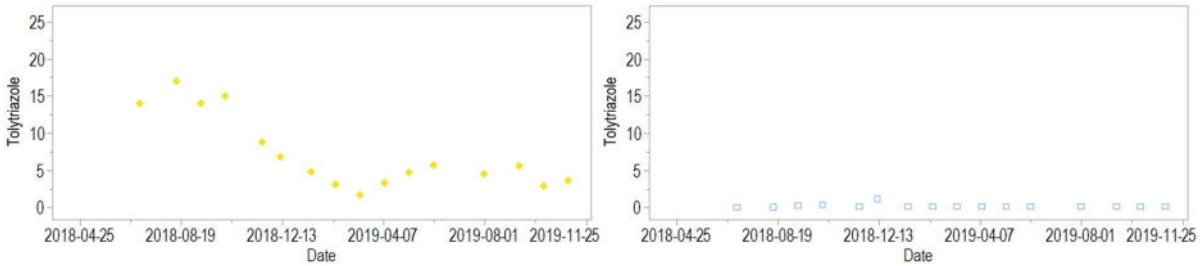


Figur 7 Halter av olika läkemedel i prover tagna varje månad under ett år (juli 2018 till juni 2019) från kolpiloten på Görvälnverket, med och utan ozonering.



Figur 8 Borttagningsgrad (%) för summahalter av läkemedel (n=23; Pharm), PFAS (n=2) och övrigt (n=3; Other) samt DOC, för jämförelse med ozonering (kolonn GAC 2, normerad mot vatten före ozonering) och utan ozonering (kolonn GAC 5), i övrigt samma uppehållstid och koltyp. För mätpunkter utan brytpunkt (x) var summahalterna i utgående vatten lägre än detektionsgränsen.

Under försöket framkom även att gamla kolkolonner kan släppa ifrån sig olika ämnen över tid. Resultat från tidigare använt kol i kolonn 3 visar t.ex. på läckage av tolytriazol över tid (se Figur 9).



Figur 9 Förändring av tolytriazol (en industrikemikalie [ng/L]) över tid till vänster i en a) gammal och b) en ny kolkolonn.

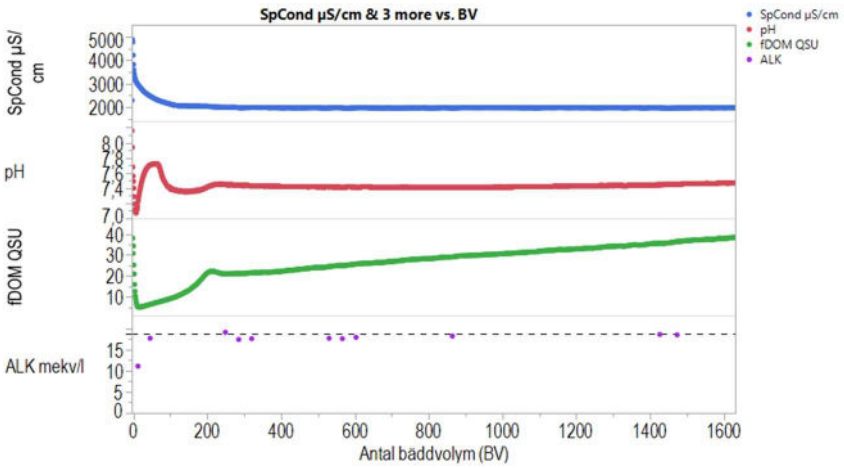
Resultat efter ett års drift indikerar att:

- Filtrasorb 400 avskilde mer DOC under hela testperioden jämfört med Norit 1240 W utan att dess förmåga att avskilja organiska miljöföroreningar försämrades.
- Ozonering i kombination med GAC (20 min EBCT) är en mycket effektiv kemisk barriär. I vår studie togs ca 90% av summahalterna av organiska miljöföroreningar bort under hela försökstiden.
- GAK filter (20 min EBCT) är nästan lika effektivt och tog bort ca 75% av summahalterna av organiska miljöföroreningar under hela försökstiden.
- Kortare EBCT (6 min istället för 20 min) gav ett tidigare genombrott (< 90% borttagning) för alla ämnen (efter ca 3 månader för PFAS, 8 månader för läkemedel och mer än 6 månader för övriga organiska miljöföroreningar)
- Biofilterfunktion: Efter att filtermaterialet mättats med DOC under experimentets första månader planade borttagningskurvan ut innan den nådde 100% genombrott. De fraktioner som avskiljdes sedan filtret hade nått steady state kan antas bero på mikrobiologisk nedbrytning av DOC i den bildade biofilmen. Denna effekt var större med ozonerat matarvatten (5% utan, respektive 12% med ozonering), vilket troligen kan förklaras med att ozoneringen slår sönder de stora DOC-molekylerna till biotillgängliga, mindre molekyler. Här syns även en skillnad mellan Norit 1240W och Filtrasorb (9% respektive 13%), vilket förmodligen kan hänföras till att det re-agglomererade kolet (Filtrasorb) har en annan typ av porsystem och reaktiv yta som gynnar nedbrytningen av DOC.
- Ympning av använt kol gav ingen mätbar effekt på DOC nedbrytning eller biofilterfunktion för organiska miljöföroreningar.
- Uppehållstid (EBCT): Den enda skillnaden mellan GAC 6 och GAC 9 var belastningen och därmed uppehållstiden. Summahalterna av organiska miljöföroreningar som uppmättes mot slutet av experimentet var ungefär en faktor tre högre för den kortare uppehållstiden jämfört med den längre (ca tre gånger längre).

I anslutning till provtagningen i maj 2019 genomfördes ett antal sorptionsexperiment med ett antal prover från några av GAK-kolonnerna. Syftet med detta försök var att testa om sorptionskinetik kan ge information om upptagshastigheten av läkemedel över tid. Preliminära resultat tyder på att kolonnerna och även prover från olika höjder kan skiljas åt men det återstår att se om detta resultat kan kopplas till filterfunktionen. Utvärderingsarbetet fortsätter under 2020.

PILOT BÄCKLÖSA (drivs av Uppsala vatten inom projekten *Innovative treatment techniques for pfas substances* och *Genomljusning*)

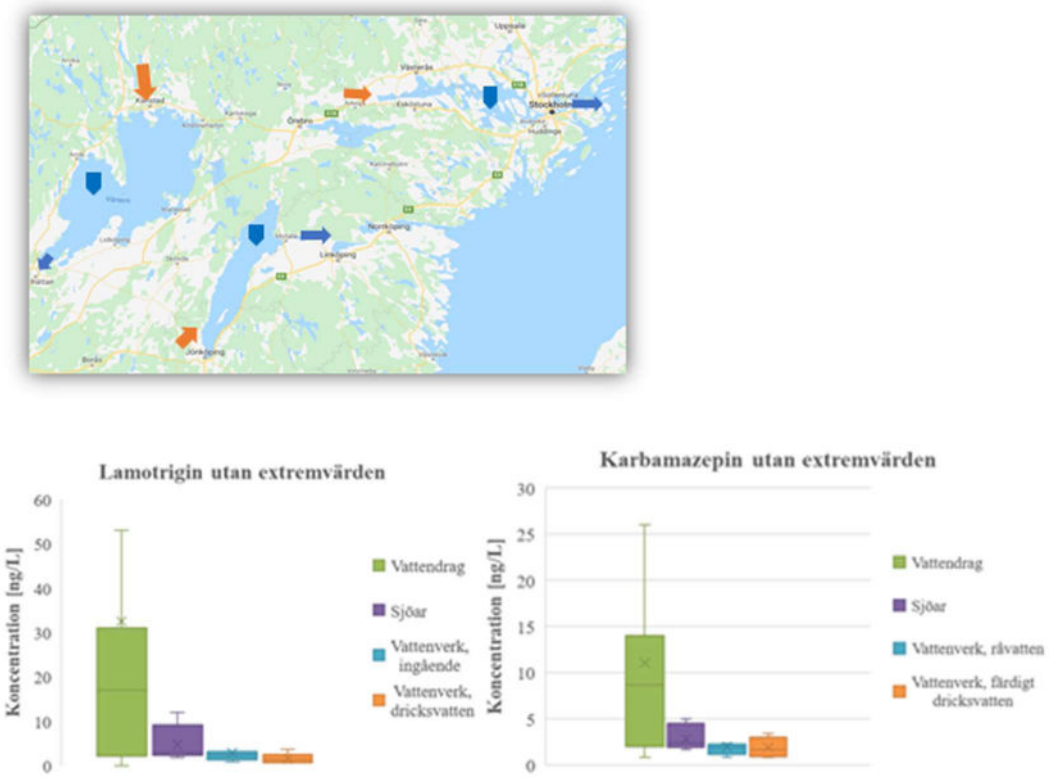
I en förstudie undersöktes borttagning av PFAS via nanofiltermembran (NF) i kombination med GAK och jonbyte vid Bäcklösa (Franke et al., 2019a). Den genomsnittliga borttagningen via NF med en mycket låg cut-off (spirallindade NF90) var 99% för summa PFAS-11. Det visade sig viktigt att efterbehandla retentatet från NF, som uppvisade ungefär 5 gånger högre PFAS-koncentrationer än matarvattnet. Därför kombinerades NF-steget med en efterbehandling av antingen GAK eller jonbyte. Resultaten visade att kombinationen av NF med GAK och jonbyte var 2,6 respektive 4,1 gånger effektivare när koncentratet behandlades jämfört med användning av endast GAK och anjonbytarsorbent (AIX) (utan förkoncentration via NF). Under 2019 följdes detta upp i en ny studie där avlägsnandet av PFAS för behandling av råvatten med användning av två olika typer av GAK (Norit och Filtrasorb) och två olika typer av jonbytesfilter undersöktes både på råvatten och efter NF behandlingen. Försöksuppsättningen liknar den som visas i Figur 7 (Franke et al 2019a). Dessutom undersöktes förhållandet mellan avlägsnande av DOC och PFAS. Försöksuppsättningen på Bäcklösa vattenverk där råvatten och vatten från membran-retentatet efterbehandlas via aktivt kol (Filtrasorb och Norit) samt jonbytes-filter (A600 och A694) var igång mellan mars 2019 och september 2019. Datautvärderingen pågår och resultaten förväntas vara klara i slutet av 2020. I samband med uppstart av projektet användes en sensor för att studera de snabba observerade förändringar som sker inom en vecka. Preliminära resultat visas i Figur 10:



Figur 10 Genombrott av alkalinitet och stigande halt av organiskt kol (FDOM 40 motsvarar ca 3 ppm DOC, kolonnen matas med DOC = 10 ppm) samt förändringar av pH och ledningsförmåga över tid under den första veckan. Denna studie är del av det nya samarbetet mellan SLU och Uppsala Vatten.

MÄTNINGAR I MÄLAREN: (bedrivs av SLU)

Under 2018 genomfördes en provtagning av organiska spårämnen. Arbetet presenterades på en konferens och i en vetenskaplig artikel (Rehrl et al. 2020). Studien har följts upp med ytterligare en intensiv provtagning under 2019 där också tillrinningsområden ingick. Detta arbete ingår i ett stort forskningsarbete runt Mälaren som påbörjades 2017 och ska sträcka sig till 2023. Mer information kan erhållas via Mälaren vattenvårdsförbund, Lutz Ahrens eller Stephan Köhler.



Figur 11 Karta över provtagningsområdena och halter av lamotrigin och karbamazepin i olika typer vatten.

Under 2019 påbörjades en av de mest omfattande provtagningar av läkemedel i tillrinningsområden av Vänern, Vättern och Mälaren hittills (Figur 11). Syftet med studien är att studera källfördelning av läkemedel, bakgrundshalter, borttagning i avlopps- och dricksvattenverk samt vilka naturliga reningsprocesser som förekommer. Resultaten från den första omgången är klara (men preliminära). I Figur 11 visas halter för två ämnen, lamotrigin och karbamazepin, i olika typer av prover.

Resultaten är preliminära och kan komma att ändras efter korrigering av matriseffekter. Det är dock betryggande att se att halter av båda ämnena är låga i både in- och utgående vatten i de studerade vattenverken.

<u>OZONERING</u>: (utfördes av SLU inom projektet *Safedrink*)

Under 2019 presenterades resultat från en ozoneringsstudie genom ett masterarbete. Tillgång till en labbskale-reaktor möjliggör ett antal specifika studier för bildning av biprodukter och efterföljande toxicitetstester i framtiden. Denna anläggning kan därför vara av intresse för vattenproducenter. För mer information, kontakta Stephan Köhler eller Oksana Golovko. Examensarbetet finns tillgängligt (Melnes 2019).

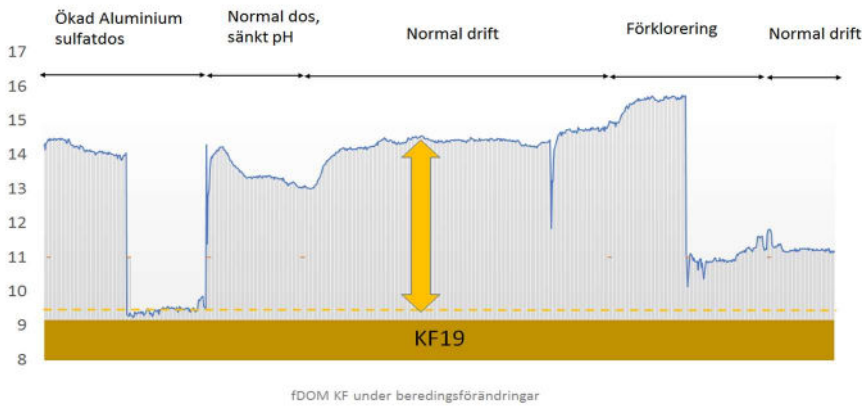
En systematisk litteraturstudie för karakterisering av nedbrytningsprodukter av ozon har utförts för Norrvatten. Rapporten beskriver rådande lagstiftning av ämnen som påverkas av ozonering (pesticider, halogenerade ättiksyror, klorat, pfas, microcystiner, uran och läkemedelsrester). Den ge även en syntes av förekomst av organiska spårämnen och effekter av ozonering av olika typer av föroreningar me olika behandlingsmetoder. Både effekten av biologiska filter och biprodukter av ozonering diskuteras.

SENSORER I VATTENVERK: (utförs av SLU inom projektet *Genomljusning*)

Under 2019 utfördes två studier som involverar optiska sensorer. Den ena utfördes på Norrvatten och är kopplad till Ozon-GAK piloten. I denna studie utvärderades hur ett större antal GAK-kolonner kan följas upp via en "spectrolyser" (S:can). Instrumentet bestämmer genomsläpplighet av ljus för våglängdsintervall mellan 220 - 730 nm och används bland annat av Sydvatten, Vivab och Norrvatten. Sorption av organiskt kol till GAK studerades via klassiska absorbansmätningar och genom användning av en flödescell med rengöringsborste. Installeringen försenades mycket, vilket ledde till att data från uppstart av projektet inte kom med. Under projektets gång gjordes dock förändringar i försöksuppsättningen som kommer att kunna utvärderas. Ett mål med detta projekt är att analysera hur noggranna mätningar som kan utföras av spectrolyser och hur dessa sedan kan kopplas till vanliga labmätningar.

Studier som utfördes för VIVAB och Gästrikevatten utvärderades. I denna studie användes både spectrolyser och en annan sond (EXO2). EXO2 sonden är en multiparametersond som till skillnad av spectrolyser kan mäta autonomt i 4 – 6 veckor. Fokus i denna studie ligger på att skilja åt vilka typer av sonder som lämpa sig bäst för olika typer av användningsområden. Ett manuskript till en vetenskaplig artikel är påbörjat.

Under sommaren 2019 användes två EXO sonder för att följa upp utfallet av förändringar av storskaleförsök på två olika GAK filter på Lackarebäck. Vattenverk. Både en ökad dos, ett förändrat pH värde och en effekt av förklorering utvärderades. Sonderna mäter tillräckligt noggrann för att kunna detektera små ändringar i dosen (2 mg/l), små ändringar i pH (0.2) eller även små ändringar i förklorering (0.25mg/l).



Figur 12 Tidsserie av FDOM (30 = ca 3 mg/l) över tid i två olika kolfilter /KF 1 ny kol och KF 19 gammal kol) under olika driftförhållanden (se text ovan figuren). Resultaten är mycket lovande och ska sammanfattas i ett vetenskapligt arbete.

KONSTGJORD INFILTRATION: (utförs av Uppsala vatten inom projektet *Genomljusning*)

Under 2019 togs inga prover inom detta projekt. Däremot summerades arbetet från 2018 i ett manus som har skickats till en vetenskaplig tidskrift. Ett viktigt resultat från detta arbete är att utvärderingen av två typer av sensorer EXO2 och "spectrolyser" var framgångsrika. Båda kan ge en bra skattning av

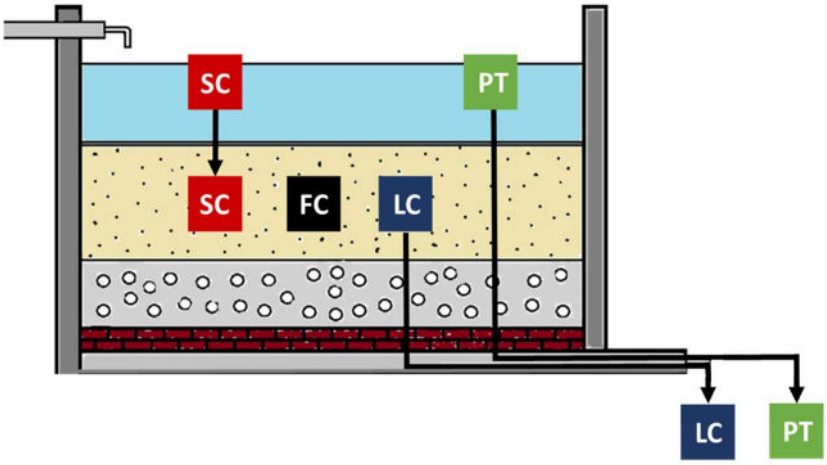
löst organiskt kol i vatten. EXO-sensorn har lägre precision men kan användas autonomt i upp till 4 veckor utan strömförsörjning. Spectrolyser är mer noggrann men kräver strömförsörjning och tryckluft för att kunna drivas på ett pålitligt sätt. Under sommaren 2019 startades ett planeringsarbete upp för 2020 och 2021 med nya infiltrationsanläggningar samt en fördjupad provtagning och karakterisering av en av infiltrationsbassängerna.

Screening av Sveriges tre viktigaste ytvattentäkter: Vänern, Vättern och Mälaren

Ett nytt projekt ska analysera vattnet i Vänern, Vättern och Mälaren med avseende på >110 organiska miljöföroreningar (läkemedel, hygienprodukter, hormoner, flamskyddsmedel, PFAS och andra industrikemikalier). Kontaktpersoner: Lutz Ahrens, Oksana Golovko, Stephan Köhler, Karin Wiberg.

5.4 Biofilter och mikrobiologiska barriärer (AP4)

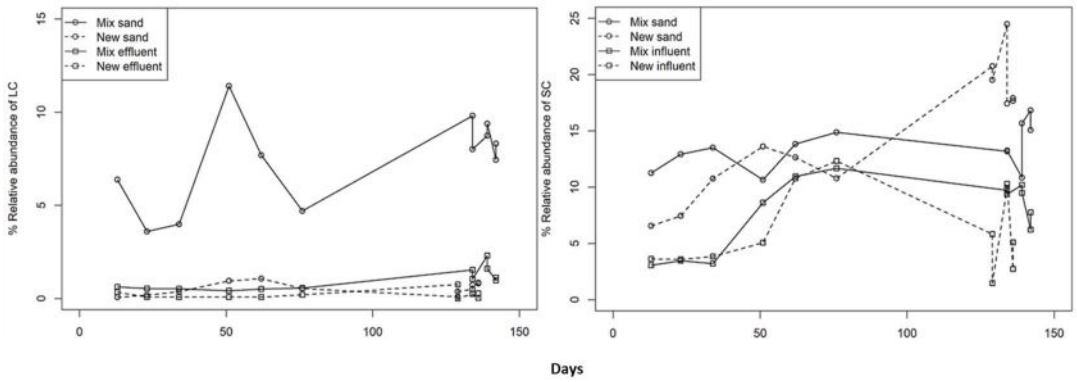
Komponent 4.1 – Bestämma den operativa biofilmen i biofilter. Genom provtagning och sekvensering av två nya och ett gammalt långsamfilter från Ringsjöverket har etableringen av biofilmen i långsamfilter studerats. Den gemensamma bakteriella sammansättningen som fanns i ingående vatten, utgående vatten och sandproverna från det väletablerade långsamfiltret grupperades för att följa dessa grupper i de nya långsamfiltern (Figur 13). Grupp SC (strict colonizers) består av sekvenser som fanns i ingående vattnet och i sandproverna men inte i proverna från det utgående vattnet. LC (leacky colonizers) och PT (passing through) är grupperade på liknande sätt men för sekvenser som endast fanns i proverna från sanden och utgående vatten (LC) och endast i vattenfaserna (PT). Sekvenser som endast härstammade från sandproverna klassas som gruppen FC (filter colonizers). Dessa gruppindelningar är adapterade från publikationen Pinto et al. 2012, Environmental Science & Technology 46(16), 8851-8859.



Figur 13 Se ovanstående text angående definitionerna för SC, FC, LC och PT som baseras på taxonomiska sekvenseringsdata från funktionellt lågsamfilter.

Dynamiken av dessa grupper studerades i två nya långsamfilter. Långsamfilter MIX (består av ny och gammal sand) och NEW (endast ny sand) visade olika etableringsmönster baserat på dessa grupper. Exempelvis innehöll den gamla sanden i MIX en högre andel av gruppen LC redan vid uppstart av

dessa två nya filter (Figur 14). Den högre andelen håller också i sig under hela provtagningsperioden. Ingen distinkt ökning av LC gruppen kunde påvisas för filtret med endast nyinköpt sand (NEW). Sanden i NEW innehöll däremot en högre andel av bakterier från SC gruppen. Andelen av denna grupp i ingående vatten för dessa långsamfilter var likande men sanden från NEW ökade i andel av under provtagningsperioden och visade en statistiskt signifikant högre relativt andel av denna grupp jämfört med sanden från MIX vid slutet av provtagningskampanjen ($p < 0.001$).



Figur 14 Den relativa andelen av gruppen LC (vänster) och SC (höger) över tid för de två nya långsamfilter MIX och NEW. Dag 1 är dagen då mognadsperioden startades och vatten började passera igenom dessa långsamfilter.

Resultaten visar att genom inokulation av långsamfilter med gammal sand skapas olika förutsättningar för olika bakteriergrupper att etablera sig jämfört med ett filter som endast bestod av nyinköpt sand.

Sanden från MIX hade en högre likhet med sanden från det väletablerade filtret när det gäller fördelningen av de olika grupperna. Detta visa den dynamiska etableringen av biofilmen i olika långsamfilter vilket kan påverkas av vilka bakteriegrupper som redan fanns från början.

Komponent 4.2 – Granska biostabilitet. Konceptet biostabilitet bygger på att vattnets mikrobiologiska kvalité i färdigberett dricksvatten och distribuerat vatten är detsamma, dvs. att ingen återväxt kan påvisas i distributionssystemet. Faktorer som påverkar vattnets biostabilitet är mängden och sammansättningen av mikroorganismer och biotillgängligt organiskt material i färdigberett dricksvatten samt antalet och sammansättningen av mikroorganismer i ledningsnätets biofilm. Därtill tillkommer vattentemperaturen, rörmaterial, flöden, uppehållstider, mängden fosfor, metan, ammonium mm. Strikt betraktat är det inte möjligt att uppnå biostabilitet enligt vedertagen definition, dvs. att antalet mikroorganismer och dess sammansättning inte förändras i ledningsnätet vilket visas i SVU-rapporten 2020-2, ”Biofilmens funktion och korrelation med dricksvattnets kvalitet”. Tack vare ett explicit biofilmssystem i Varberg i kombination med innovativ applikation av FCM analys har det varit möjligt att påvisa den specifika biofilmsdynamiken i ett fullskaligt ledningsnät för distribution av dricksvatten under en treårsperiod. De vetenskapliga resultaten har redovisats i Chan et al. (2019) och Schleich et al. (2019). Sammanfattningsvis finns ett linjärt samband mellan antalet bakterier och vattnets kontakttid med biofilmen i ledningsrören där antalet frisatta biofilmsbakterier i ledningssystemet succesivt ökar med allt längre uppehållstider för vattnet. En annan orsak till de stigande bakteriehalterna kan också vara den avtagande klorhalten i ledningsnätet. Klorkoncentrationen på utgående dricksvatten var i genomsnitt 0,19 mg/l i Varberg för

att därefter gradvis minska från de centrala provpunkterna i ledningsnätet till ytterområdena där det inte var möjligt att kvantifiera klorkoncentrationen. Vattentemperaturen hade också en stor påverkan på antalet bakterier och dess sammansättning vilket kunde observeras under sommarperioden. MPS-studierna i Varberg har förutom att bekräfta FCM-resultaten också identifierat den faktiska biofilmsfloran i distributionssystemet som kommer att redovisas i en framtida vetenskaplig publikation. En preliminär populärvetenskaplig redovisning återfinns i SVU-rapporten 2020-2.

Komponent 4.3 – Fastställa kemisk och biologisk barriärverkan. I ett samverkansprojekt med Norrvatten, Livsmedelsverket, Sweden Water Research och Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) i Umeå har vi genomfört en fullskalig UV-studie på Görvälnverket (Pullerits et al. 2020). Syftet har varit att undersöka hur tre olika UV-doser (250 J/m^2, 400 J/m^2 och 600 J/m^2) avdödar naturligt förekommande mikroorganismer samt påverkar vattnets biostabilitet. Log10-reduktionen av långsamväxande bakterier (HPC) var 0,43 ± 0,12 vid 400 J/m^2, vilket tydliggör att HPC inte kan användas som ett mått på biologisk barriärverkan och dricksvattensäkerhet. Värdet av HPC som markör för vattenkvalité kommer att granskas i det nya SVU-projektet 19-102. De taxonomiska MPS-studierna visade att den stora gruppen av *Actinobacteria* var mer resistenta mot UV-bestrålning emedan *Bacteroidetes* var känslig för UV. Aktinobakterier är en mycket vanlig och viktig grupp av Gram-positiva jordbakterier med högt guanin-cytosin (GC)-innehåll som bl.a. spelar en viktig roll i nedbrytningen av organiskt material i naturen. Bakterioideter är Gram-negativa bakterier med lägre innehåll av GC som återfinns i vitt skilda miljöer såsom vatten och i diverse tarmsystem. Gruppen *Proteobacteria*, Gram-negativa bakterier som bl.a. innehåller flera kända patogener såsom *Escherichia coli* var antingen känsliga eller resistenta mot UV-exponering beroende på deras GC-innehåll i DNA. De fylogenetiska släktskapsstudierna visade att bakterieklustren med låga GC-halter var mer UV-känsliga än de med höga GC-halter. Proteobakterier bildar den artrikaste bakteriegruppen som bl.a. inkluderar vanliga vattenbakterier med fotosyntetisk och kväveomsättande förmåga.

De sekvenserande regionerna som tillhörde UV-resistenta bakterier hade ett större genomsnittligt GC-innehåll (55% ± 1,7) än UV-känsliga bakterier (49% ± 2,5), vilket överensstämmer med att UV orsakar DNA-skador s.k. tymindimerer hos framförallt bakterier med lågt GC-innehåll. Förutom att UV avdödar ”tymindimerbildande” bakterier är det framförallt Gram-negativa bakterier som är UV-känsliga. Flera studier har påvisat att Gram-positiva bakterier såsom *Actinobacteria* är mer UV-resistenta och återfinns i miljöer med starkt UV-solsken. De relativa mängderna av familjerna *Chitinophagaceae*, *Pelagibacteraceae*, *Holophagaceae*, *Methylophilaceae* och *Cytophagaceae* minskade linjärt med ökande UV-dos ($P < 0,05$, Pearson korrelation). När bestrålat vatten analyserades efter lagring i 6 dagar vid 7° C minskade familjerna *Chitinophagaceae*, *Comamonadaceae* och *Flavobacteriaceae* i relativ mängd medan familjerna ACK-M1, *Mycobacteriaceae* och *Nitrosomonadaceae* ökade i relativ mängd. Antalet långsamväxande (HPC) ökade under lagring i de icke-bestrålade proverna, från 4,5 ± 1,4 till 8,7 ± 6,2 CFU / ml. Antalet HPC förändrades inte i UV-bestrålat vatten som lagrats. Däremot såg man en förändring av bakteriefloran efter att UV-bestrålat vatten lagrats när hela bakteriefloran undersöktes med MPS-teknik, vilket kan tolkas som minskad biostabilitet. För att kunna bedöma antalet koliforma bakterier och eventuella *E. coli* koncentrerades 60 liter vatten före och efter UV-bestrålning innan analys. Koliformer kunde endast påvisas i obestrålat vatten (1,7 ± 0,57 per 10 L vatten) där även enstaka *E. coli* (0,97 ± 0,93 per

10L vatten) kunde påvisas. Med tanke på att detta är resultat från enstaka prover bör det följas upp med fler analyser innan man uttalar sig om vattenverkets barriärverkan innan UV.

Att UV-bestrålat vatten förändrar den bakteriologiska sammansättningen i färdigberett dricksvatten är uppenbart, men om det i sin tur påverkar biofilmen i distributionssystemet är oklart. Exempelvis visar denna studie att familjen ACK-M1 som ingår i *Actinomycetales* ökar i relativ mängd pga. UV, en grupp bakterier som förknippats med smak- och luktproblem i dricksvatten via bildandet av bl.a. 2-metylisoborneol (MIB). MIB är svårt att ta bort med konventionell vattenrening, men det är känt att visa bakterier såsom *Chitinophagaceae* kan biologiskt bryta ner MIB, en grupp bakterier som visade UV-känslighet i studien. Sammantaget kan man tolka resultaten som ökad risk för MIB-bildning i distributionssystemet. Förutom de lukt- och smakproblematiska bakterierna observerades att familjen *Mycobacteriaceae* ökade i relativ mängd i UV-bestrålat vatten. Detta är en grupp bakterier som kan innehålla opportunistiska patogener som också är kända för sin resistens mot UV och andra desinfektionsmedel som t.ex. klor, monokloramin och ozon.

Helene Norder vid Sahlgrenska akademin är en världsledande forskare på virus i miljön. Tillsammans med Olof Bergstedt i DRICKS sökte hon FORMAS-finansiering för att vidareutveckla och tillämpa virusanalyser på dricksvatten under beredning och avloppsvatten. I december 2019 disputerade Hao Wang på sin avhandling Hepatititis E virus in the virome of water and animals. Thomas Pettersson i DRICKS ingick i betygsnämnden. Arbetet omfattar bland annat en studie som visar hur analyser av avloppsvatten kan ge tidig upptäckt av utbrottet i samhället. Den artikel som fokuserar på dricksvatten (Wang et al 2020) visar att analysmetodiken utvecklats så att genom från en mängd olika virus kan påvisas mellan beredningssteg och i dricksvatten, bland annat Hepatit E. En viktig fortsättning är att kunna bedöma viabiliteten för att avgöra om någon del av virusen har kvar sin infektionsförmåga efter olika typ och grad av desinfektion. Till största delen var påvisade virus fager dvs de har bakterier som specifik värd och det ger möjlighet att utvecklarikligt förekommande fager som indikatorer för barriärverkan mot virus .Det är också viktigt att skapa en kontinuitet i analys av virus och därför har ett nära samarbete med DRICKS initierats.

Komponent 4.4 – Identifiera analytiska biofilmsmarkörer. Det finns ett stort behov av att ta fram snabba och effektiva mikrobiologiska analysverktyg som kan användas av Sveriges dricksvattenproducenter. Förutom odlingsbaserad analys saknas idag möjlighet att mikrobiologiskt övervaka vattenverkens olika beredningssteg eller enkelt påvisa den mikrobiella statusen i ledningsnätet. Vi och andra har med hjälp av bl.a. massiv parallellsekvensering (MPS) visat att DNA-baserad flödescytometri (FCM) har den potential som krävs för att med enkelhet och precision kunna följa de mikrobiologiska processerna i dricksvattenproduktionen Metoden påvisar förutom det totala antalet bakterier även antalet levande/döda bakterier samt den bakteriella sammansättningen såsom ett specifikt flödescytometriskt spektra. Sandy Chan med medarbetare (Chan, 2018) har visat att den förfinade taxonomiska MPS-bestämningen korrelerar mycket väl med FCMs fluorescensspektra. Idag har bl.a. Norrvatten, Sydvatten, VA SYD och VIVAB implementerat FCM i sina verksamheter, där VIVAB tack vara den senaste teknikutvecklingen följer UF-driften med on-line FCM. Ringsjöverket använder FCM för att följa individuella långsamfilter samt fastställt när man kan driftsätta långsamfilter efter skumning eller vid etablering av nya långsamfilter. SVU-rapporten 2020-2 beskriver erfarenheterna av att övervaka distributionsnätet i Varberg under en treårsperiod. Ett delmål med projektet har varit att identifiera FCM-basvärden för ett antal strategiska

provtagningspunkter på ledningsnätet för att underlätta övervakningen av den mikrobiella dricksvattenkvalitén. Beräkningen och definitionen av dessa basvärden varierade från provpunkt till provpunkt utifrån vattentemperaturer och uppehållstider för vattnet. I provtagningsområden med liten förändring av bakterieantalet under sommarperioden räckte det med några få basvärden. För provpunkterna med stor bakterieökning under sommarmånaderna var det nödvändigt att bestämma flera analysvärden för de olika tidsintervallen under året. Larmgränserna bestämdes för varje provpunkt utifrån fluktuationer av FCM data. Slutsatsen är att varje dricksvattenproducent behöver generera bas/referens-värden för eget vatten för att fastställa normalvärden och avvikelser. On-line FCM möjliggör även att man i realtid kan följa kritiska kontrollpunkter såsom t.ex. permeatvatten. Om man vill ha samma typ av early-warning system på ledningsnätet kan man installera ett flertal online instrument på några väl valda provplatser.

UV-specifika biomarkörer. Idag används enstaka modellorganismer för att utvärdera effekten av UV, trots att det är känt att laboratorieodlade mikroorganismer visar ökad UV-känslighet jämfört med motsvarande naturligt förekommande mikroorganismer. Dessutom är det svårt att dra generella slutsatser från enstaka stamspecifika UV-tester. Iakttagelsen att ett antal UV-känsliga familjer såsom *Chitinophagaceae*, *Pelagibacteraceae*, *Holophagaceae*, *Methylophilaceae* och *Cytophagaceae* visar en linjär korrelation med UV-dosen kan användas för att utveckla nya kvantitativa PCR metoder (qPCR och dPCR) som selektivt påvisar en eller flera av dessa familjer. De föreslagna familjerna återfinns i relativt stora mängder i dricksvatten, sötvatten och flodvatten. Metodens analyskänslighet för UV-skador kan också stärkas väsentligt om man samtidigt analyserar längre DNA-fragment dvs. ökar sannolikheten för att målsekvensen inkluderar tymindimerer orsakade av UV.

Formasprojektet, ”En bild betyder mer än tusen baciller: att skapa datorverktyg som använder bildanalys för att stöda hållbar dricksvattenberedning och distribution”, började januari 2019. Tillsammans med Högskolan Kristianstad (Dr. Niklas Gador m.fl.), har vi börjat utveckla en app, flowCHICmobile, med målet att vem som helst skall kunna analysera komplexa flödescytometriska spektra för generell mikrobiologisk vattenanalys. En användarvänlig prototyp har tagits fram med hjälp av programmet R i samverkan med Sydvatten och pågående långsamfilterstudier. Projektet slutar i december 2020.

Biofilterprestanda och effekten av kontakttiden (CT) studerades på Kungälvs nya WTP inom ett doktorandprojekt på Chalmers. Ett 12-veckors experiment genomfördes August-Oktober, 2019, med fyra parallella biofilter. Ursprungligen hade varje filter CT = 80 min, därefter sattes filtren individuellt till CT = 15, 30, 60 eller 81 min. Vattenkvalitetsmätningar inkluderade DOC, fluorescens och absorbans. Resultaten visade att borttagandet av NOM ökade när kontakttiderna ökades från 15 minuter till 80 minuter. En brant ökning sågs mellan 15-30 minuter, sedan för CT> 30 min ökade NOM-borttagningen linjärt i proportion till CT och nådde inte ett maximum. Fluorescens (proteinliknande och nedbruten humikliknande) var den mest känsliga vattenkvalitetsmätningen för att upptäcka förändringar i vattenkvalitet kopplad till kontakttiden.

6. Kommunikation och publicering (AP5)

I detta kapitel beskrivs hur resultaten från forskning och samverkan inom DRICKS har spridits ut till den svenska dricksvattenbranschen men också till övriga forskarvärlden och allmänheten.

Studieresa till Nederländerna, föreståndare tillsammans med DRIK-kommittén.

6.1 DRICKS seminarier

Under 2019 arrangerades ett DRICKS-internat, tre workshops och ett antal DRICKS-seminarium. Dessutom var medlemmar från DRICKS medarrangörer eller inbjudna talare i ett flertal seminarier och workshops. I januari samlades DRICKS forskare och medlemmar för att delta i det årligen återkommande DRICKS-internatet, som 2019 hölls i Örebro. Vid internatet deltog DRICKS beredning- och styrgrupper samt representanter från samtliga medlemskommuner och forskningsmiljöer. Arbetet under de två dagarna innebar startskottet för den nya programperioden, och arrangerades som workshops kring de fyra huvudsakliga arbetspaketen. Bakgrund, syfte och planerat arbete presenterades för varje arbetspaket och därefter hölls workshopar med fokus på aktiviteter att inkludera i arbetspaketen. Två workshops arrangerades i samband med att DRICKS höll beredningsgruppsmöten på plats ute hos medlemmarna under 2019, och en workshop arrangerades i Göteborg tillsammans med forskare och ledningsgruppens medlemmar, tillsammans med inbjudna forskare från Dresden, Tyskland.

Den 5 mars genomfördes ett **seminarium om kemiska risker i Uppsala**. Mötet, som arrangerades av SLU, hade deltagare både på plats och via videolänk.

Den 21 mars arrangerades en **workshop om processval och beredningstekniker på Vombverket** i samband med DRICKS beredningsgruppmöte i Malmö Den uppskattade workshopen arrangerades av Sydvatten och Trollhättan Energi i samverkan med DRICKS, och samlade deltagare från alla medlems-organisationer i syfte att diskutera för- och nackdelar med olika beredningstekniker. Workshopen behandlade olika aspekter av biostabila vatten utifrån de förslag och idéer som dök upp under workshopen kring AP4 vid DRICKS-internatet i Örebro. Synpunkter och konkreta förslag inkluderades i en projektansökan som senare beviljades av SVU (projektnummer 19-102).

Under april 2019, deltog Viktor Bergion, doktorand på Chalmers, i **Vetenskapsfestivalens programpunkt "Vetenskapsrouletten" som varje år genomförs i Lisebergshjulet i Göteborg**. I varje gondol i hjulet finns en forskare som under den femton minuter långa åkturen, med Göteborgs skyline som fond, presenterar sitt forskningsområde för passagerarna. För Viktors del var inramningen FN:s globala hållbarhetsmål nummer 6, ”Rent vatten och sanitet för alla”.

Den 25 - 26 april 2019 organiserade Catherine Paul och Dr. Torben Lund Skovhus, VIA University College, ett **Nordiskt Biofilmssymposium i Horsens**, Danmark med ett 90-tal deltagare. Symposiet var inriktat på forskning och praxis kring önskad och oönskad biofilmstillväxt i dricksvattenledningar. Ett flertal biofilmsfrågeställningar diskuterades utifrån olika perspektiv som berörde beredning-processer, dricksvattenkvalitéer, rörmaterial, råvattentyper och analystekniska möjligheter och begränsningar. Huvudtalare var Dr. Isabel Douterelo, University of Sheffield och Dr. Frederik Hammes, Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.

22 juli, **Dricksvatten i Almedalen - Hur hotat är vårt dricksvatten**? Johan Lundqvist och Agneta Oskarsson, SLU https://www.slu.se/ew-nyheter/2019/7/hur-hotat-ar-vart-dricksvatten/

Den 25 augusti under **World water week I Stockholm**. Session on Challenges of contaminants of emerging Concerns, including antibiotic resistant bacteria, föredrag av Foon Yin Lai, Institutionen för vatten och miljö, SLU, *Tracing contaminants of emerging concern (CECs) in water using the latest advances in chemical and toxicological analysis*.

Den 4 september 2019 organiserade Catherine Paul en **workshop ”Hanteringen av stora flödescytometriska data” i Lund** som en del av Formas projekt ”En bild är mer än 1000 bakterier”. Gästtalare var Michael Besmer, OnCyt AB, Schweiz, Lisa Neu, Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology samt Niklas Gador och Daniel Einarsson från Högskolan Kristainstad.

Den 17 september, arrangerades en **workshop Membranprocesser i Linköping**. Membranteknik är för många ett intressant alternativ på vägen mot framtidens utmaningar, och därför anordnades en workshop på temat efter önskemål från flera DRICKS-medlemmar hos Tekniska verken i Linköping. Många DRICKS-medlemmar planerar nya verk som kan inkludera reningssteg som baseras på membran. Syftet med denna workshop var att öka förståelsen för olika användningsområden av membran. Under denna workshop blev ett stort antal membrantillverkare erbjudna att presentera sina lösningar. Bland annat diskuterades olika förbehandlingar, begränsningar, typer av membran, olika anordningar av membran och reningsstrategier. Inga skriftliga anteckningar togs men alla presentationer finns tillgängliga via BOX (https://app.box.com/contacts). Deltagarna diskuterade tekniken utifrån ett antal intressanta frågeställningar, och de deltagande dricksvattenproducenterna och membranleverantörerna var mycket nöjda med innehållet.

27 september, **Formas Frukost på Nobelmuseet i Stockholm,** ett filmat seminarium med Karin Wiberg på temat: *Hur står det till med vårt dricksvatten*?

24 oktober, Uppsala, **Seminarium om Mälaren**: *Occurrence of organic pollutants in Mälaren sediments*, muntlig presentation av Oksana Golovko, Institutionen för vatten och miljö, SLU https://www.slu.se/ew-nyheter/2020/3/organiska-miljogifter-vanligt-forekommande-i-malaren/

Den 14 november anordnades ett **seminarium om spridningsmodellering i Göteborg** i anslutning till Viktor Bergions disputation. Opponenten, Professor Sarah Dorner från Polytechnique Montreal, talade på temat spridningsmodellering och skydd av vattentäkter.

Den 19 december arrangerades en **Workshop om digitalisering i vattensektorn** i Göteborg där forskning från TZW Dresden presenterades. Planering för framtida möjliga samarbeten initierades.

6.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten, media

Under 2019 har forskningsresultat inom DRICKS publicerats i vetenskapliga artiklar i välrenommerade referee-granskade tidskrifter samt i ett antal tekniska rapporter. Både forskare verksamma inom DRICKS samt representanter från medlemskommuner och vattenverk har dessutom aktivt deltagit i flera nationella och internationella konferenser, seminarier samt workshops, där man presenterat resultat från forskning och samverkan inom DRICKS i form av muntliga presentationer, posterpresentationer och som posterbidrag. Två doktorsavhandlingar har publicerats, och en hedersdoktor har utnämnts. I kapitel 8 redovisas alla de publiceringar som genomförts inom DRICKS.

Olof Bergstedt, Kretslopp och vatten Göteborgs stad och adjungerad till Chalmers/DRICKS har utnämnts till hedersdoktor vid Chalmers för sin betydande forskargärning och expertis inom

tillämpad dricksvattenteknik. Teknologie hedersdoktorat vid Chalmers utses årligen och ges som ett erkännande för en mycket framstående och djupgående yrkesprestation med anknytning till Chalmers ämnesmässiga kompetensområden.

Vera Franke, doktorand på SLU, har tilldelats Otto Hutzinger Student Award för sin presentation Towards more efficient removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: Can nanofiltration combined with active carbon or anion exchange do the trick? på konferens i Kyoto, Japan.

DRICKS har uppmärksammats i media under 2019, bland annat genom inlägg i debatten, deltagande i policy briefs, mm, se länkar nedan:

- **Säkra framtidens dricksvatten (Uppsala Nya tidning, 2019-07-06).** https://www.unt.se/asikt/debatt/sakra-framtidens-dricksvatten-5351605.aspx

- När vattnet tar slut (SR P3 Dystopia, 2019-10-02)

- Vatten en alltmer lukrativ placering. (ETC, 2019-09-08)

- En fjärdedel av befolkningen riskerar akut brist på vatten. (ETC, 2019-08-09)

- **Two infographics on CECs** -1: Society and 2: Industry aimed.
    - Water JPI KHCEC infographic for industry: **The challenge - Implementing priority actions to address CECs**. http://www.waterjpi.eu/implementation/thematic-activities/water-jpi-knowledge-hub-1/waterjpi-khcec-infographic_industry_27-01-20.pdf
    - Water JPI KHCEC infographic for society: **Did you know? Introducing CECs and our water resources**. http://www.waterjpi.eu/implementation/thematic-activities/water-jpi-knowledge-hub-1/waterjpi-khcec-infographic_society_27-01-20.pdf

- **Water JPI Knowledge Hub on CECs Stakeholder Brief** med Karin Wiberg, Lutz Ahrens och Foon Yin Lai från Institutionen för vatten och miljö på SLU som medförfattare. *"Continuous increase of CECs in the anthroposphere as a stressor for water resources"* – January 2020, http://www.waterjpi.eu/implementation/thematic-activities/water-jpi-knowledge-hub-1/jpi-khcec_january_2020_stakeholderbrief.pdf

6.3 DRICKS hemsida och nyhetsbrev

DRICKS hemsida http://www.dricks.chalmers.se är vår plattform för information om organisationen och verksamheten, och landningsplats för nyheter om forskning och utbildning samt information om kommande aktiviteter i vår regi. Hemsidan syftar till att beskriva DRICKS genom att presentera en översiktlig bild av verksamheten och utgör vårt kontinuerliga skyltfönster mot våra intressenter samtidigt som den binder samman de tre lärosätena.

Innehåller på hemsidan är av mer statisk karaktär, undantaget nyhets- och kalenderfunktionen. Här beskrivs avslutade och pågående forskningsprojekt, forskarutbildning och undervisning och info om

utförda och kommande exjobb. Även hur vi skapar samhällsnytta, hur organisationen är uppbyggd och vilka forskare och experter som är knutna till DRICKS.

Arbetet med hemsidan och dess innehåll är ett pågående arbete, dels ifråga om utveckling av strukturen, men främst ifråga om publicering av innehåll. Hemsidan är hemvist för en del av innehållet som sedan puffas ut i nyhetsbrevet.

Målet med DRICKS hemsida som kanal sett, är att våra identifierade målgrupper relativt enkelt ska kunna finna den informationen och/eller inspirationen de söker. Tonalitet och tilltal är anpassad efter de olika målgrupperna och skiljer sig i viss mån åt på respektive undersida.

Nyhetsbrevet är vårt medium för uppsökande information och direktkanal till medlemmar och intressenter. Ambitionen är att få till en relativt jämn fördelning av innehåll från Chalmers, Lund och SLU. Nyhetsbrevet syftar till att presentera både resultat och nya projekt, bjuda in till aktiviteter, skapa intresse för verksamheten och visa på samverkansmöjligheter såväl som att lyfta ny metodik och arbetssätt.

Med hänsyn till dataskyddsförordningen GDPR som trädde i kraft i mitten av 2018 skickas DRICKS nyhetsbrev endast ut till en prenumererad lista. Prenumeranterna har antingen en stadigvarande koppling till organisationen eller har anmält intresse. Detta till trots sågs en stadig, om än i maklig takt, ökning i antalet prenumeranter främst från dricksvattenproducenter i landet under 2019, vilket är positivt för att etablera kännedom om DRICKS hos de som driftar och utvecklar vår svenska dricksvattenproduktion.

På SLU har nya webbplatser om Dricksvatten publicerats:

Dricksvatten och hälsa: https://www.slu.se/miljoanalys/program/program-giftfri-miljo/dricksvatten-och-halsa/

Dricksvatten på institutionen för vatten och miljö: https://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/forskning/forskningsomraden/dricksvatten/

7. Undervisning kopplad till DRICKS

I detta kapitel beskrivs de insatser som gjorts inom grundutbildningen, utveckling av kurser och examensarbeten, för att verka för att fler studenter inriktar sig mot dricksvatten i sin utbildning. Under 2017 startades även en Vattenforskarskola i samverkan med de övriga tre SVU-finansierade vattenklustren.

7.1 VA-kurser och kursutveckling

Vid alla tre lärosäten, dvs Chalmers, Lunds universitet och SLU, finns kurser som har direkt koppling till DRICKS och de olika tematiska områden som programmet täcker. Inom Vattenforskarskolan har Stephan Köhler och Olof Bergstedt utvecklat och genomfört en doktorandkurs i dricksvattenteknik. Även dricksvattenproducenter var välkomna och flera deltog i kursen.

Vid Chalmers ges kurser som kopplar till dricksvatten och va-teknik samt riskbedömning och beslutsstöd. Kurserna ingår i Masterprogrammet ”Infrastructure and Environmental Engineering” samt en grundkurs i Hydraulik och va-teknik som ges i kandidatprogrammen Väg- och vattenbyggnad samt i Byggingenjörsprogrammet. Följande kurser innehåller dricksvattenrelaterade frågeställningar i olika omfattning:

Dricksvattenteknik
Dricksvattenteknik i hela systemet behandlas i denna kurs, vilket delas in i tre delmoment; råvatten, beredning och distribution. Vi har ett moment i beredningsteknikdelen där studenterna använder sig av QMRA-verktyget (utvecklat i ett SVU-projekt) för att bedöma de hälsomässiga riskerna för konsumenter som försörjs av vattenverk med varierande uppsättningar beredningsprocesser. Inom distribution så genomför studenterna en dimensionering av ledningsnätet i ett nytt bostadsområde med hjälp av EPANet. Kursen är numera valfri i programmet och årligen läser ca 30 studenter (både svenska och internationella) denna kurs. Kursen har fått mycket bra kritik av studenterna samt från flera konsultföretag i Göteborg, som anställt nyutexaminerade civilingenjörer med VA-teknik som huvudinriktning.

Riskbedömning och beslutsstöd
Denna kurs är fokuserad på hur riskbedömningar och specifika beslutsanalyser såsom kostnads-nyttoanalys och multikriterieanalys kan användas som beslutsstöd i syfte att minska existerande risker till en acceptabel nivå. Under kursen lär sig studenterna tekniker för att jämföra åtgärdsalternativ och utvärdera resultaten. För att praktisera de teoretiska kunskaperna får studenterna genomföra ett projektarbete kopplat till ett dricksvattensystem med konstgjord grundvatteninfiltration. I storleksordningen 30-40 studenter läser kursen varje år (svenska och internationella). Kursen har fått mycket goda omdömen.

Hydrogeologi
Under 2019 startade en ny masterkur i hydrogeologi. Kursens ger studenterna en detaljerad förståelse för hydrogeologi vid nyttjande och skydd av grundvattenresurser inom grundvattenförsörjning och infrastruktur. Fokus är på metoder och analysverktyg för grundvattenhydraulik (akviferanalys), utformning av anläggningar för grundvattenuttag och infiltration samt skydd av grundvattenresurser.

Vattensystem och modellering
Syftet med kursen är att ge studenterna en förståelse för problemlösning och modellering inom

området vattenhantering. Kursen är inriktad på vattenkvalitetsmodellering. En central del i kursen utgörs av ett projektarbete där studenterna får öva sina färdigheter på att lösa en öppen problemställning. I storleksordningen 20 studenter läser kursen varje år.

Hydrologi och dagvatten
Kursens övergripande syfte är att studenten ska förvärva fördjupad förståelse om den hydrologiska cykeln i natur- och stadsmiljö och hur denna påverkas av ett förändrat klimat. Studenten ska kunna tillämpa sina förvärvade kunskaper för att beräkna och modellera vattenflöden samt relatera förändringar i hydrologiska processer, t.ex. nederbörd och vattenflöden, till effekter på miljö och samhälle. I storleksordningen 50 studenter läser kursen varje år

From research to policy for sustainable development
Kursen har utvecklats i samverkan med forskare och policy experter vid Göteborgs centrum för hållbar utveckling, GMV, och utgör en del av kursutbudet i den klustergemensamma vattenforskarskolan. Kursen kombinerar teorier och faktorer som påverkar upptagandet av forskningsresultat i policy processer med praktiska övningar.

Vid Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, ges följande kurs med inriktning mot dricksvattenbehandling:

Distribution and treatment of drinking water
Efter godkänd kurs ska studenten kunna: identifiera lämpliga råvattenkällor för kommunal användning utifrån deras beskaffenhet och tillgång, samt diskutera de viktigaste utmaningarna för dricksvattenförsörjningen i Norden, beräkna lösligheten av gaser och lösta ämnen utifrån jämviktsreaktioner, beskriva syften och principerna för olika beredningssteg i dricksvattenproduktion, beräkna och redogöra för förändringar i kemisk och mikrobiell sammansättning som ett resultat av bland annat sand- och membranfiltrering, flockulering, sedimentation, jonbyte, adsorption samt olika desinfektionsmetoder, redogöra för grundprinciperna för ett distributionsnät för dricksvatten och för ett avloppsledningsnät, bestämma lämpliga hydrauliska dimensioner för ett vattenlednings- och avloppsledningsnät och bedöma och diskutera Livsmedelsverkets anvisningar för dricksvattenkvalitet. Under kursen genomförs ett projektarbete som har varit att ta fram Wikipedia sidor på svenska som relatera till dricksvattenberedning. Eftersom kursen genomförs på engelska så kommer det kunna utgöra ett bra underlag den framtida kurser inom beredning för water reserach doctorate school.

Kurser på Lunds universitet:

Kusthydraulik - VVRN30: Introducerar och ger en grundläggande förståelse för tekniska problem och processer som förekommer i kustzonen och ger inblick i integrerad förvaltning av kustområden där kustproblem och lösningar ses som en integrerad del av samhället

Hydrologi & Akvatisk Ekologi - VVRA01: Syftar till att ge en helhetssyn på vattenmiljön utifrån såväl fysiska och som biologiska synpunkter. Hydrologi beskriver vattencirkulationen i naturen och under människans påverkan. Akvatisk ekologi beskriver förhållandet mellan de olika komponenterna i den lokala och globala miljön.

Strömningslära - VVRF10: Ger grundläggande strömningstekniska kunskaper som erfordras för analys och problemlösning inom några viktigare områden med vattenanknytning som en ekosystemtekniker kan komma i kontakt med.

Vatten - VVRA05: Ger grundläggande kunskaper som erfordras för analys och problemlösning inom några viktigare områden med vattenanknytning som en väg- och vattenbyggare kan komma i kontakt med. Vidare skall studenten i viss utsträckning kunna tillämpa kunskaperna på problem inom vattenbyggnad, stadsbyggnad och vattenförsörjning.

Hydromekanik - VVRN35: Ger en fysikalisk förståelse för fenomen och begrepp inom komplicerade vattenflöden och introducerar beräkningsmetoder för att analysera en rad viktiga hydrauliska problem. Kursen behandlar huvudsakligen strömning med fri vattenyta med betoning på kanalströmning.

Strömning i naturliga vatten - VVRN40: Förmedlar en grundläggande förståelse för de fenomen och processer som styr strömning i naturliga ytvatten, med syfte att ge möjlighet att analysera förutsättningar och konsekvenser vad gäller mänskliga aktiviteter i naturen. I begreppet 'aktiviteter' innefattas huvudsakligen utsläpp av föroreningar men samverkan mellan olika typer av konstruktioner och vattenströmning behandlas också liksom grundläggande sedimenttransport

Integrerad Vattenresursplanering - VVRF01: Syftar till att förbereda studenterna att arbeta med frågor rörande integrerad vattenresursförvaltning i ett internationellt perspektiv. Kursen har fokus på och genomförs med hjälp av praktiska exempel och projekt. Den behandlar tekniska och icke-tekniska frågor, inklusive de vanligaste vattenmiljöproblemen i både utvecklade länder och i utvecklingsländer

Avrinningsmodellering - VVRN10: Behandlar den del av avrinningsområdet som ligger utanför urbaniserat område med fokus på modellering av avrinningsprocesser.

Sommarforskarskola i Kina - VVRF05: En gemensam sommarkurs vid Xiamen University, Xiamen, Kina. Kursen ges från april-september, där 4 veckor är förlagda i Kina (juni – juli). Genom ett projektarbete tillsammans med kinesiska studenter får du erfarenhet av interkulturellt samarbete i en internationell miljö. I april inleds studierna med två seminarier, där projekten och litteratur presenteras. Kursen avslutas i september med ett slutseminarium. Självstudier innan avresa ingår. Exakta datum bestäms inför kursstart.

Hållbar Utveckling & Hushållning med Naturresurser - MIDA24: Denna kurs är ett samarbete med Mastersprogrammet LUMID. Studerar nyttjande och planering av naturresurser i utvecklingsländer från ett socio-ekologiskt perspektiv. Huvudfokus ligger på mark-, vatten- och biologiska resurser med hänsyn till klimatförändringar och –variabilitet.

Vatten, Samhälle & Klimatförändringar - VVRN20: Tillhandahåller metoder och verktyg för anpassning av vattenresurser system med avseende på klimatförändringar och klimatvariationer. Kursen kommer också att ge grundläggande förståelse för de fysikaliska processer som ligger bakom klimatförändringarna och dess effekter på den hydrologiska cykeln.

Vattenrörledningssytem - VVRN25: Ger en omfattande teoretisk förståelse av hydrauliken bakom rörströmning och rörsystem. I kursen ingår analys, design, planering och förvaltning av rörledningar och rörsystem för vatten, avlopp, fjärrvärme och fjärrkyla

Samt kurserna:

- Direction and Coordination in Disaster Management, VRSN10
- Foundations for Risk Assessment and Management, VRSN05
- Introduction to Societal Resilience, VBRN30
- Preparedness and Planning, VBRN40
- Risk Analysis Methods, VBR180
- Risk Assessment, VBRN01
- Risk Based Land Use Planning, VBR110
- Risk Management Process, VBR171
- Applied Ecotoxicology, BIOR52
- Aquatic Ecology, BIOR82
- Limnology, BIOR17
- Marine Ecology, BIOR65
- Water Management, BIOR66
- Water and Wastewater Technology VVAF01
- Avancerad avloppsvattenhantering VVAN20
- Grundvattenmodellering och föroreningstransport VTGN05
- Grundvattenteknik VTGN10
- Finita elementmetoden – flödesberäkningar VSMN25
- Environment and sustainable development in the Middle East CMEN21
- GEON04 Global and Regional Marine Geology
- GEOA82 Berg, jord och vatten i ett miljöperspektiv
- Geologi i samhället GEOB25
- GEOP06 Hydrogeologi

Kurser som genomfördes genom Vattenforskareskolan (2019):

- Waste water (3+3 hec). Va-teknik Södra/VA-kluster Mälardalen
- Measurements, uncertainties, and statistics (3 hec). Dag&Nät/VA-kluster Mälardalen
- Modeling and uncertainty analysis (3+2 hec). VA-kluster Mälardalen
- Popular science writing for water researchers (3 hec) VA-teknik Södra

7.2 Examensarbeten

Under 2019 har 12 studenter genomfört 7 examensarbeten och kandidatarbeten inom DRICKS olika delområden – från råvatten till tappkran. På DRICKS hemsida (www.dricks.chalmers.se) under Publikationer presenteras samtliga examensarbeten som genomförts under 2019, och de finns även listade i kapitel 8.5 Examensarbeten.

8. Referenser

I detta kapitel redovisas alla publikationer som producerats inom DRICKS under 2018 – från vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter och doktorsavhandlingar till populärvetenskapliga artiklar.

8.1 Vetenskapliga publikationer

Chan, S., Pullerits, K., Keucken, A., Persson, K. M., Paul, C. J., & Rådström, P. (2019). Bacterial release from pipe biofilm in a full-scale drinking water distribution system. npj Biofilms and Microbiomes, 5(1), 1-8.

Pullerits, K., Ahlinder, J., Holmer, L., 4, Salomonsson, E., Öhrman, C., Jacobsson, K., Dryselius, R., Forsman, M., Paul, C.P., Rådström, P. Impact of UV irradiation at full scale on bacterial communities in drinking water. npj Clean Water (in press)

Schleich, C., Chan, S., Pullerits, K., Besmer, M. D., Paul, C. J., Rådström, P., & Keucken, A. (2019). Mapping dynamics of bacterial communities in a full-scale drinking water distribution system using flow cytometry. Water, 11(10), 2137.

Franke V., McCleaf P., Lindegren K., Ahrens L. (2019a) Efficient Removal of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Drinking Water Treatment: Nanofiltration combined with Active Carbon or Anion Exchange, Environmental Science: Water Research & Technology, DOI: 10.1039/c9ew00286c

https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/ew/c9ew00286c#!divAbstract

Franke V. et. al Removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from tap water using heterogeneously catalyzed ozonation, Environmental Science: Water Research and Technology, 2019b

https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/ew/c9ew00339h#!divAbstract

Sörengård, M., Östblom, E., Köhler, S., & Ahrens, L. (2020). Adsorption behavior of per- and polyfluoralkyl substances (PFASs) to 44 inorganic and organic sorbents and use of dyes as proxies for PFAS sorption. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8(3), 103744. https://doi.org/10.1016/J.JECE.2020.103744

Rehrl, A.-L., Golovko, O., Ahrens, L., & Köhler, S. (2020). Spatial and seasonal trends of organic micropollutants in Sweden's most important drinking water reservoir. Chemosphere, 249, 126168. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.126168

Krzeminski, P., Vogelsang, C., Meyn, T., Köhler, S. J., Poutanen, H., de Wit, H. A., & Uhl, W. (2019). Natural organic matter fractions and their removal in full-scale drinking water treatment under cold climate conditions in Nordic capitals. Journal of Environmental Management, 241, 427–438. https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.02.024

Tröger, R., Köhler, S. J., Franke, V., Bergstedt, O., & Wiberg, K. (2020). A case study of organic micropollutants in a major Swedish water source – Removal efficiency in seven drinking water treatment plants and influence of operational age of granulated active carbon filters. Science of The Total Environment, 706, 135680. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.135680

Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T., Dahlqvist, P. & Rosén, L. (2019). Marginal Abatement Cost Curves for Water Scarcity Mitigation under Uncertainty. *Water Resources Management*, 33(12), 4335-4349. https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-019-02376-8

Dahlqvist, P., Sjöstrand, K., Lindhe, A., Rosén, L., Nisell, J., Hellstrand, E., & Holgersson, B. (2019). Potential Benefits of Managed Aquifer Recharge MAR on the Island of Gotland, Sweden, *Water*, 11, 2164. doi:10.3390/w11102164

Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T. & Rosén, L. (2019). Cost-Benefit Analysis for Supporting Intermunicipal Decisions on Drinking Water Supply, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145 (12). https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001121

Gontia, P, Thuvander, L, Ebrahimi, B, Vinas, V, Rosado, L, Wallbaum, H. Spatial analysis of urban material stock with clustering algorithms: A Northern European case study. *J Ind Ecol*. 2019; 23: 1328– 1343. https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1111/jiec.12939

Vinas, V. Malm, A., Pettersson, T.J.R. (2019). Overview of microbial risks in water distribution networks and their health consequences: quantification, modelling, trends, and future implications. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **46**(3), 149-159.

Moona, N., Wuensch, U., Bondelind, M., Bergstedt, O., Sapmaz, T., Pettersson, T. J. R. (2019). Temperature-dependent mechanisms of DOM removal by biological activated carbon filters. *Environmental Science: Water Research and Technology* (12), p. 2232-2241.

Wang H, Kjellberg I, Sikora P, et al. (2020). Hepatitis E virus genotype 3 strains and a plethora of other viruses detected in raw and still in tap water. Water Res. 168:115141

8.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag (muntliga såväl som posterpresentationer)

Chan S., Persson K.M. Rådström P. and Paul, C.J. (2019). The biofilm community in full-scale slow sand filters and how they can impact the effluent water microbiome. Nordic Drinking Water Biofilm Symposium, Horsens, Danmark (oral presentation).

Chan, S., Pullerits, K., Keucken, A., Persson, K.P., Paul, C.J, Rådström, P. (2019). Bacterial release from pipe biofilm in a full scale drinking water distribution system. Nordic Drinking Water Biofilm Symposium, Horsens, Danmark (poster).

Chan, S., Pullerits, K., Keucken, A., Persson, K.P., Rådström, P. Paul, C.J. (2019). The microbiome of bacteria released from pipe biofilm into drinking water, following installation of a hybrid ultrafiltration process in Varberg, Sweden. Danish Water Forum, Copenhagen (oral presentation).

Dryselius R., Herzog A, Paul CJ, Ahlinder J, Maxe L, Westerberg E., Tornevi A., et al. (2019). Slutseminarium MSB-finansierat projekt "Dricksvattenrisker – beslutsstöd för översyn och optimering av dricksvattenberedning. Nationell Dricksvatten Konferens, Skelleteå (muntlig presentation).

Hägg, K., Heibati, M., Paul, C.J. Murphy, K. and K., Persson, K.M. (2019). Compositional changes in dissolved organic matter (DOM) and bacterial communities during artificial groundwater recharge. IWA Natural Organic Matter in Water specialist conference, Tokyo, Japan (poster).

Pullerits, K., Ahlinder, J., Holmer, L., Salomonsson, E., Öhrman, C., Jacobsson, K., Dryselius, R., Forsman, M., Paul, C.J., Rådström, P. (2019). The impact of UV irradiation on the bacterial community in drinking water at full scale. IWA Microbial Ecology and Water Engineering specialist conference (MEWE), Hiroshima, Japan (poster).

Pullerits, K., Li, J., Klante, C., (2019). Hur bra är framtidens dricksvatten? Sweden Water Research dagen, Helsingborg (muntlig presentation).

Rådström, P. (2019). Pre-PCR processing: a concept to generate PCR- and MPS-compatible samples . Nordic Drinking Water Biofilm Symposium, Horsens, Danmark (oral presentation).

Åkesson S, Paul, CJ & Sparrenbom C. (2019). Detektion av mikrober i utmanande miljöer. Grundvattendagarna, Lund (muntlig presentation).

Lindhe, A., Rosén, L., Johansson, P.-O. & Norberg, T. (2019). Dynamic water balance modelling for risk assessment and decision support on MAR potential in Botswana. *Extended abstract* for ISMAR10 – 10th International Symposium on Managed Aquifer Recharge, Topic No: 1 (115#), Madrid, Spain 20-24 May.

Dahlqvist, P., Sjöstrand, K., Lindhe, A., Rosén, R., Nisell, J., Hellstrand, E. & Holgersson, B. (2019) MAR on the Island of Gotland, Sweden – exploring the potential and feasibility in comparison to alternative measures. *Extended abstract* for ISMAR10 ISMAR10 – 10th International Symposium on Managed Aquifer Recharge, Topic No: 14 (098#), Madrid, Spain 20-24 May.

Lindhe A. & Rosén, L. (2019). Grundvattentjänsters värde i samhället. Keynote presentation vid Grundvattendagarna, Lund, Sweden, Oktober 23-24.

Beslutsstöd för åtgärdsprioritering I områden med vattenbrist. Grundvattendagarna, Lund, Okt. 23-24, 2019.

Water constraints – Decision support to evaluate and compare mitigation measures. The 4th Water Research Comission Symposium: Innovation in every drop, Johannesburg, Sept. 11-13, 2019.

Water management – Decision support for informed prioritizations. The 4th Water Research Comission Symposium: Innovation in every drop, Johannesburg, Sept. 11-13, 2019.

Är tillgången på vatten ett problem i Sverige? Almedalen, Visby, Jun. 30 – Jul. 7, 2019.

Potential Benefits of Managed Aquifer Recharge MAR on the Island of Gotland, Sweden. The 10th International Symposium on Managed Aquifer Recharge, Madrid, Maj 20-24, 2019.

8.3 Doktors- och licentiatavhandlingar

Bergion, V. (2019), Risk-Based Decision Model for Microbial Risk Mitigation in Drinking Water Systems. Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola.

Heibati, M. (2019), Applications of natural organic matter optical properties for assessing drinking water disinfection and distribution Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola.

8.4 Rapporter

Malin Ullberg: Slutrapport Pilotförsök Ozon och granulerad aktiverad kol. GV2060_PILOT – FÖRSÖK 1B: O3 + GAC (2019) SLU Uppsala Internrapport för Norrvatten. För att möjligen få tillgång till underlaget kontakta daniel.hellstrom@norrvatten.se eller helene.ejhed@norrvatten.se

Daniel Malnes: Ozonoxidation och AOPs biprodukter och reducerande förmåga (2019) SLU Uppsala Internrapport för Norrvatten. För att möjligen få tillgång till underlaget kontakta daniel.hellstrom@norrvatten.se eller helene.ejhed@norrvatten.se

Caroline Schleich, Sandy Chan, Kristjan Pullerits, Moshe Habagil, Jennie Lindgren, Catherine J. Paul, Alexander Keucken och Peter Rådström. Biofilmens funktion och korrelation med dricksvattnets kvalitet. SVU-rapport 2020-2.

Dryselius R., Herzog A, Paul CJ, Ahlinder J, Maxe L, Westerberg E., Tornevi A., et al. (2019). Dricksvattenrisker – beslutsstöd för översyn och optimering av dricksvattenberedning. MSB slutrapport.

Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T., Dahlqvist, P. & Rosén, L. (2019). *Water demand management – challenges and possibilities* (In Swedish, Swedish title: När vattentillgången brister). Report 2019:79, RISE Research Institutes of Sweden, Lund. https://research.chalmers.se/publication/512694/file/512694_Fulltext.pdf

8.5 Examensarbeten

Rehrl, Anna-Lena, 2019. *Occurrence and fate of organic micropollutants (OMPs) in Lake Mälaren.* Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept. of Aquatic Sciences and Assessment

Lindqvist, Sandra 2019. *Vilken effekt har framtida klimat på strömningsmönster i Ekoln - en modelleringsstudie baserad på MIKE 3 FM*, Uppsala universitet Independent thesis Advanced level (professional degree), 20 credits / 30 HE credits. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1341472/FULLTEXT01.pdf

K: Alexander Fors, Fanny Jeppsson Stahl, Harald Löf, Anna Skoglund, Maja Skotte, Johanna Renberg 2019 *Avsaltning av brackvatten som lösning för Ålands framtida vattenförsörjning* Uppsala universitet kandidatarbete för civilingenjörer i miljö- och vattenteknik. http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1320680/FULLTEXT01.pdf

Greenwood E. (2019). The impact of drinking water chlorination on fecal carriage rates of antimicrobial resistant bacteria in Bangladeshi children. Master Thesis, Lund University.

Helstad A. (2019). Application of flow cytometry for routine monitoring of slow sand filters producing drinking water. Master Thesis, Linköping University

Persson M. (2019). Evaluation of flow cytometry for monitoring maintenance of slow sand filters. Advanced course thesis, Lund University

Braun, M. C. (2019). Performance Evaluation of a Drinking Water Treatment Plant in Samaipata, Bolivia. Master's Thesis ACEX30-19-95. Chalmers University of Technology.

Diener, Erwin (2019) *Modelling the circulation and spread of pollution in Lake Rådasjön under conditions of climate change*. Master thesis, Chalmers University of Technology. https://hdl.handle.net/20.500.12380/300294

Fischer, Frida; Hamdan, Yazan; Hansson, Amanda; Josefsson, Elin; Sundström, Lisa (2019) *Water quality modelling and quantitative microbial risk assessment of Msunduzi river.* Bachelor thesis, Chalmers University of Technology. https://hdl.handle.net/20.500.12380/257409